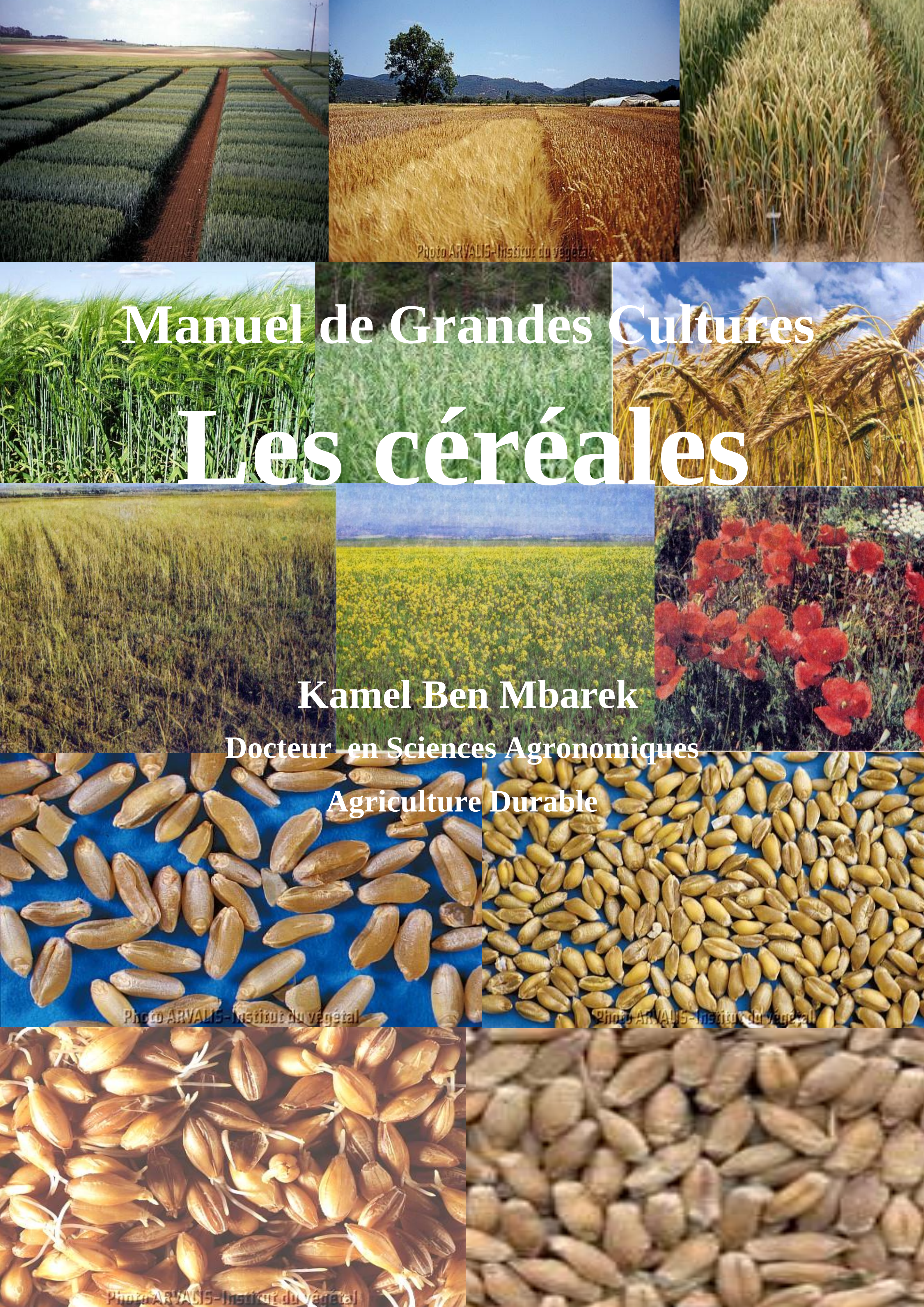


Manuel de Grandes Cultures

Les céréales

Kamel Ben Mbarek

Docteur en Sciences Agronomiques

Agriculture Durable

Manuel de grandes cultures

Les céréales

Kamel Ben Mbarek

Docteur en Sciences Agronomiques

Agriculture Durable

Manuel des grandes cultures

Les céréales



Kamel Ben Mbarek
Docteur en Sciences Agronomiques – Agriculture Durable
Email: benmbarekkamel@yahoo.fr

Remerciements: Nos vifs remerciements sont adressés à toute personne ayant facilité l'apparition et la diffusion de ce document.

Remarque: Il nous est agréable de recevoir vos remarques et vos commentaires.

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

A travers le monde, les céréales ont une importance impérative pour les disponibilités alimentaires. Elles représentent l'aliment de base de toute l'humanité directement à travers la consommation des produits céréaliers et indirectement à travers la production animale. A cet égard, dans les pays de l'Afrique du Nord, le régime alimentaire est composé de 206 kg de céréales par tête d'habitant en Tunisie contre 200 kg en Algérie et 175 kg au Maroc (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

La céréaliculture occupe une place de choix dans l'économie Tunisienne. En 2012, elle a contribué à la valeur ajoutée agricole et au PIB avec respectivement 16,47 % et 1,44 %. Elle absorbe 50% de la main d'œuvre agricole, soit 250 mille agriculteurs dont 62 % est composée des exploitations moins de 10 ha. Alors que les grandes exploitations, plus de 100 ha, ne représentent que 5,6 %. On pourrait estimer que la moitié de la production céréalière est réalisée par des exploitations de taille modeste, moins de 50 ha, qui ne représentent que 32 % des exploitations totales.

Durant la dernière décennie, la céréaliculture occupe le tiers de la superficie agricole utile Tunisienne avec une superficie moyenne annuelle de 1,4 million d'ha dont la majorité est localisée dans les régions humides et subhumides du nord. Les emblavures, les rendements et le ratio des superficies (récoltées / emblavées) sont largement dépendants des aléas climatiques, notamment de la pluviométrie. En 2010, qui était une année de sècheresse, la production des céréales a enregistré son plus bas niveau avec 10,8 millions de Qx. Alors que le niveau le plus élevé, 29,041 millions de Qx, a été atteint en 2003. Durant la campagne de 2013/14 la production céréalière a été de 23,100 millions de Qx.

Le rendements le plus faible a été enregistré durant la campagne 2001/2002 avec une moyenne de 4,61 Qx/ha; alors que le plus élevé, 20,6 Qx/ha, a été obtenu en 2002/2003. Au cours de la période 2000-2014, les rendements moyens étaient de 14,7 Qx/ha pour le blé dur, 19,5 Qx/ha pour le blé tendre, 9,9 Qx/ha pour l'orge, 16,6 Qx/ha pour le triticale et 14,9 Qx/ha comme rendement moyen de toutes les céréales. En revanche, durant la campagne 2013/14, les rendements ont été de 17,69 Qx/ha pour le blé dur, 17,67 Qx/ha pour le blé tendre, 17,57 Qx/ha pour l'orge, 17,13 Qx/ha pour le triticale et une moyenne générale de 17,62 Qx/ha de toutes les céréales.

En dépit des progrès technico-économiques indéniables réalisés en Tunisie, les rendements moyens céréaliers demeurent faibles et irréguliers. Ils restent très loin derrière

la productivité des pays méditerranéens de l'Europe. A titre d'exemple, les rendements moyens des produits céréaliers enregistrés dans les pays de l'Union Europein en 2014 sont respectivement de 58,2 Qx/ha pour le blé tendre, 29,2 Qx/ha pour le blé dur, 48,2 Qx/ha pour l'orge, 66,9 Qx/ha pour le maïs grain, 39,8 Qx/ha pour le seigle, 32,5 Qx/ha pour l'avoine, 43 Qx/ha pour le sorgho, 42,9 Qx/ha pour le triticale et un rendement moyen de toutes les céréales de 45,1 Qx/ha. Cette situation critique s'explique à la fois par des facteurs édapho-climatiques, des facteurs techniques notamment la qualité des semences et les pratiques culturales et des facteurs humains traduits par la mauvaise organisation au niveau de l'exploitation et le niveau de formation des producteurs limité ou faisant défaut.

Il est à signaler qu'en Tunisie, la céréaliculture est quasiment pluviale avec un maximum de 100 mille ha irrigables. En 2013/14, les surfaces conduites en irrigué, de l'ordre de 84 mille hectares, ont permis de produire 2,93 millions de Qx de produits céréaliers, soit 12,5 % de la production céréalière totale.

Pour faire face à la demande croissante des céréales destinées pour l'alimentation humaine et animale, les pays en voie de développement, entre autres la Tunisie, ont deux alternatives: les importations ou l'augmentation de la production des céréales.

Les importations, en augmentation régulière et positive, sont conjuguées à une production déficitaire et quasiment irrégulière et une population constamment croissante.

En Tunisie, la production céréalière ne couvert que 30 % des besoins annuels; alors que le reste, près de 70 %, est assuré par des importations qui représentent 40 à 50 % de la valeur des importations agricoles. Durant la décennie 2005-2014, elles ont atteint une moyenne de 2,73 millions de tonnes dont 51 % du blé tendre, 25 % de l'orge et 24 % du blé dur. Les importations du blé tendre sont constamment les plus importantes. Sur le plan financier, les coûts des céréales à l'importation ont connu une augmentation vertigineuse. Le prix du blé dur à l'importation pour la Tunisie est ainsi passé de 253,44 D/t en 2000 à 1127,040 D/t en 2008 et 802,560 D/t en 2011. Pour le blé tendre, les chiffres sont respectivement de 209,280 D/t en 2000, 737,280D/t en 2008 et 610,560 D/t en 2011. Durant la décennie 2000-2011, le coût des importations de céréales a plus que triplé pour atteindre 2,304 milliards Dinars en 2011 (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

D'après la FAO (2002), l'augmentation de la production végétale découle de trois sources principales en l'occurrence: l'extension des terres arables, l'accroissement de l'intensité culturale traduit par la fréquence des récoltes sur une même superficie et l'amélioration des rendements. Les superficies céréalières étant constantes, l'élévation des rendements, qui contribue avec 70 % dans l'amélioration de la production, reste le plus

important facteur. A ceci s'ajoute d'autres alternatives notamment, la composante humaine, l'organisation et la structuration des exploitations en exploitations agricoles familiales durables et un socle institutionnel basé sur le statut foncier, le remembrement et le statut professionnel de l'agriculteur et des travailleurs familiaux (Rastoin et Benabderrazik, 2014).

Dans l'objectif d'amélioration de la production et de la productivité des céréales, nous avons abordé cette étude bibliographique. Nous avons essayé de toucher les aspects économique, agronomique et technique des cultures céréalières. Elle est composée de deux grands chapitres à savoir :

⇒ Chapitre I: Etude agro-économique et technique des cultures céréalières

Dans un premier volet de ce chapitre nous avons analysé l'importance économique des cultures céréalières en Tunisie et dans le monde à travers les superficies emblavées, les productions, les rendements et les importations. Comme deuxième volet nous avons traité les techniques culturales de la production céréalière en modes conventionnelle et biologique. Pour le contrôle des dégâts occasionnés par les maladies, les ravageurs et les animaux, nous nous sommes limités aux techniques culturales et nous avons évité l'introduction des spécialités commerciales vu que la liste est très large et que leur présence sur le marché est variable dans le temps et dans l'espace.

⇒ Chapitre II: Etude de cas: Blé, Orge, Triticale, Avoine, Sorgho et Maïs

Dans ce deuxième chapitre nous avons étudié les plus importantes espèces céréalières produites en Tunisie. Nous avons touché les aspects économique et biologie et les techniques culturales.

Dans l'objectif de la manipulation des céréales et comme complément de formation des étudiants, nous avons présenté en annexes trois protocoles de travaux pratiques.

Ce document, garni d'illustrations, s'adresse à une large population intéressée par la céréaliculture. Nos vifs remerciements sont adressés aux éditeurs de ces illustrations.

Comme références bibliographiques nous avons cité les plus importantes. D'autres références, prélevées à partir de l'internet, n'ont pas été citées. Que leurs responsables trouvent nos profondes excuses.

Chapitre I

Etude agro-économique et techniques culturales des céréales

1. Introduction

Les céréales, notamment, les blés dur et tendre, l'orge, le triticale, l'avoine, le maïs, le riz, le sorgho, le mil, sarrasin….sont des monocotylédones qui produisent des grains ou caryopses très riches en amidon (Tableau 1).. Vu qu'elles fournissent plus de 50 % des besoins énergétiques des êtres humains, elles occupent une position stratégique dans l'économie internationale.

Tableau 1. Composition chimique moyenne de différentes espèces céréalières

Composants (% de MS)	Protéines	Lipides	Hydrates de carbone	Fibres brutes	Cendre
Blé	10,6 - 14,6	1,6 - 2,1	66,9 - 75,9	1,7 - 2,3	1,3 - 2,2
Orge	8,3 - 11,8	1,8 - 2,1	68,0 - 72,0	4,3 - 5,7	2,3 - 2,7
Riz	8,4 - 12,0	0,9 - 1,3	70,5 - 76,3	0,9 - 1,3	9,6 - 13,4
Maïs	9,5 - 11,5	4,0 - 5,0	68,0 - 75,0	1,7 - 2,0	1,2 - 1,6
Sorgho	8,0 - 9,5	1,9 - 2,0	70,0 - 74,2	2,0 - 2,5	1,7 - 2,0
Mil	9,4 - 10,5	3,2 - 3,8	68,5 - 71,5	1,5 - 1,8	1,8 - 2,2

La plupart des céréales, particulièrement: le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet et le sorgho appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Les unes, telles que: le blé, l'orge, l'avoine et le seigle appartiennent à la sous-famille des Festucoïdées; alors que les autres, notamment, le maïs, le riz, le sorgho et le millet appartiennent à la sous-famille des Panicoïdées. En revanche, le sarrasin appartient à la famille des Polygonacées (Figure 1).

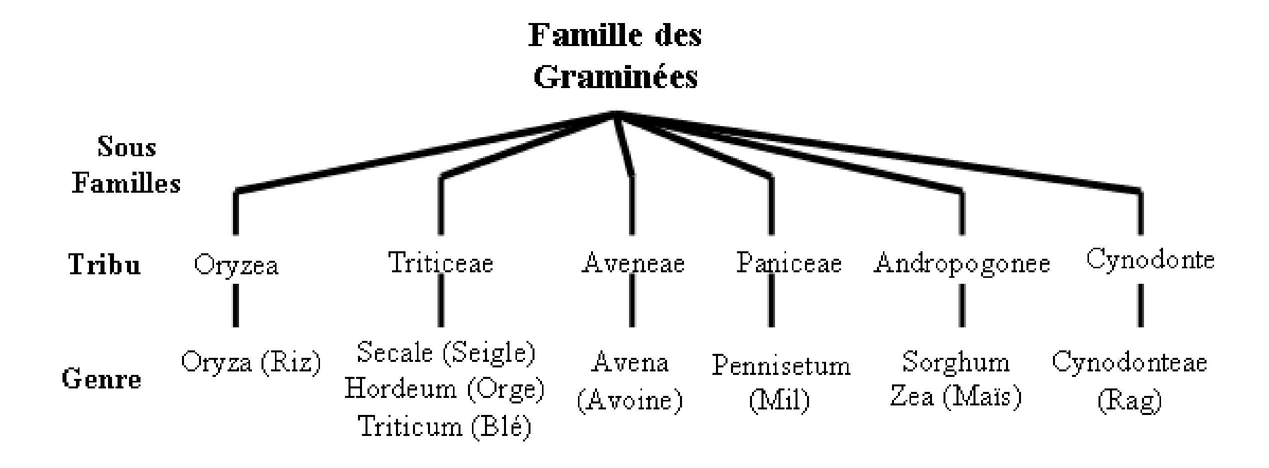


Figure 1. Taxonomie de la famille des graminées (Kevith, 2004).

Contrairement à l'agriculture conventionnelle, qui est réputée comme étant un système de production intensif, l'agriculture biologique (Bio) est un système de production qui exclut, totalement, l'utilisation des produits chimiques de synthèse, les pesticides, les régulateurs de croissance et les produits OGM. L'agriculture Bio a pour objectifs de :

⇒ préserver l'environnement et mieux valoriser les ressources naturelles et par conséquent contribuer à une agriculture durable.

⇒ obtenir une production saine et de bonne qualité nutritive et organoleptique.

⇒ contribuer à l'amélioration du revenu agricole des exploitants.

Malgré ses avantages incontestables, l'agriculture Bio ne manque pas de critiques. On estime que les produits Bio sont plus chers que les produits conventionnels d'environ 30 %. Casagrande (2008) a rapporté que le rendement et la teneur en protéines des grains de blé (*Triticum aestivum* L.) conduit en agriculture biologique sont généralement plus faibles que ceux obtenus en agriculture conventionnelle.

De nombreux facteurs contribuent dans l'édification du coût élevé des produits Bio, particulièrement:

⇒ L'agriculture biologique fait recours davantage à la main d'œuvre et met en œuvre des pratiques culturales extensives qui demandent plus d'espace pour atteindre une production équivalente à celle de l'agriculture conventionnelle.

⇒ Le respect de l'environnement par les apports massifs de produits naturels, dont la qualité et la quantité sont limitées dans le temps et dans l'espace, résulte à des rendements moins élevés qu'en agriculture conventionnelle.

⇒ Le coût du contrôle et de la certification est à la charge des producteurs en Bio.

⇒ Les spécificités de l'agriculture biologique et les habitudes de consommation expliquent cette hausse des prix.

Selon Casagrande (2008), les faibles teneurs en protéines et des rendements s'expliquent principalement par la présence de nombreux facteurs limitants entre autres le déficit azoté, la concurrence en eau, en éléments fertilisants et en lumière exercée par les adventices, les effets dépressifs des ravageurs et maladies, le tassement du sol et le stress hydrique. De plus, les pratiques de fertilisation sont mal maîtrisées par les agriculteurs notamment la gestion de l'efficience d'utilisation des fertilisants, des dates et doses d'apport, ne permettant pas une valorisation optimale de l'azote apporté.

En grandes cultures, la conversion, qui est la période de transition entre le mode de production conventionnel et la certification en production Bio, dure deux années durant

lesquelles l'agriculteur applique les règles de l'agriculture biologique sans pouvoir commercialiser ses produits avec le Label *" Produit Bio "*.

2. Importance agro-économique des céréales dans le monde

2.1. Importance agronomique

Les céréales sont dotées d'une importance agronomique démesurée. En fait,

⇒ elles sont caractérisées par un important système radiculaire fasciculé qui aère les sols lourds et donne de la structure aux sols légers;

⇒ suite à la récolte et aux façons culturales, les chaumes délaissés ainsi que la masse radiculaire sont enfuis dans le sol. Les précipitations automnales accélèrent leur décomposition et favorisent la formation du complexe argilo-humique;

⇒ la biomasse aérienne des céréales secondaires a divers usages dont notamment l'alimentation du bétail ou comme engrais vert suite à une coupe et un enfouissement dans le sol;

⇒ une culture céréalière, convenablement désherbée, pourrait être considérée comme une culture nettoyante;

2.2. Importance économique des céréales dans le monde

2.2.1. Céréales conventionnelles

La production mondiale des céréales s'élève à 2328 millions de tonnes. Les principales espèces produites sont le maïs (37,6%), les blés dur et tendre (29,4 %) et le riz (20,5 %) (Tableau 2).

Tableau 2. Production mondiale de céréales (millions de tonnes) (FAO, 2012; AGPB, 2013).

Production	2010	2011	2012	Moyenne	Pourcentages
Maïs	833	880	916,4	876,5	37,6
Blé (Dur et Tendre)	674,9	700	675,1	683,3	29,4
Riz	460,5	480,1	488,2	476,3	20,5
Orge	144,1	135,7	135,6	138,5	5,9
Sorgho	62,3	56,2	61,2	59,9	2,6
Autres	94,7	92	94,1	93,6	4
Total	**2270**	**2344**	**2371**	**2328**	**100**

Les pays en voie de développement, assujettis à une explosion démographique conjuguée à des productions céréalières de faibles rendements en grains (Tableau 3), n'ont pas encore atteint leur autosuffisance alimentaire. Pour combler leur déficit en céréales, ils

en importent vers les 224 millions de tonnes/an. En revanche, les pays développés ont des excédents de productions et en exportent vers les 204,7 millions de tonnes/an (Tableau 4).

A travers le monde, le rendement moyen des espèces céréalières est de 22,8 Qx/ha pour le blé, 20,5 Qx/ha pour l'orge, 38 Qx/ha pour le maïs et 6,3 Qx/ha pour le riz. Les rendements en grains les plus élevés sont enregistrés par les pays de la CEE; alors que les rendements les plus faibles sont enregistrés par les pays de l'Afrique sauf pour le riz qui a un rendement relativement élevé (Tableau 3).

Tableau 3. Rendements moyens des principales céréales par pays (en Qx/ha) (FAO 2012; AGPB, 2013).

Espèces	Blé	Orge	Maïs	Riz	Moyenne
Afrique	10	9	14	9,5	10,6
USA	22	24	70	5,3	30,3
CEE	36	35	39		36,7
Asie	23	14	29	4,2	17,6
Moyenne mondiale	**22,8**	**20,5**	**38**	**6,3**	**22,9**

Au cours des années 2008-2012 les pays développés ont produit vers les 363 millions de tonnes de blé. Ils ont en exporté 115,2 millions de tonnes et ont en importé 27,6 millions de tonnes. Alors que les pays en voie de développement ont produit une moyenne de 320,3 millions de tonnes. Ils ont en importé 106,7 millions de tonnes et ont en exporté 19,5 millions de tonnes (Tableau 5). Les productions de blé dans les deux catégories de pays paraissent similaires. Seulement, l'une en exporte plus qu'elle en importe; alors que, la seconde en importe plus qu'elle en exporte. Ceci se traduit par le fait que le régime alimentaire des pays sous développés est basé surtout sur les céréales. Ces résultats reflètent la dépendance alimentaire des populations sous développées vis-à-vis des pays développées.

Le Commerce International en matière de céréales est dominé, selon un ordre décroissant, par le blé, le maïs, le riz et l'orge (Figure 2). Les plus importants pays exportateurs sont les Etats Unis, l'Argentine, l'Australie, le Canada et l'Union Européen. Par contre, les plus importants pays importateurs sont le Japon, le Mexique, la Corée, l'Egypte, la Chine, la Roumanie et la Bulgarie (AGPB, 2013)

Tableau 4. Production, importations et exportations de céréales à travers le monde (Unités: millions de tonnes) (AGPB, 2013)

	Production				**Importations**				**Exportations**			
	08/10 Moyenne	2011 Estimé	2012 Prévu	Moyenne	08/09-10/11 Moyenne	2011/12 Estimé	2012/13 Prévu	Moyenne	08/09-10/11 Moyenne	2011/12 Estimé	2012/13 Prévu	Moyenne
Asie	993	1067	1060	1040	139	144	145	142,7	43	50	48	47,0
Afrique	154	156	156	155,3	65	69	69	67,7	7	8	7	7,3
USA	630	615	663	636	58	62	60	60,0	145	137	146	142,7
Europe	455	462	452	456,3	16	16,8	20	17,6	65	72	71	69,3
Océanie	37	44	40	40,3	1,4	1,2	1	1,2	20	26	24	23,3
Au Monde	2269	2344	2371	2328	279	293	295	289,0	280	293	296	289,7
PVD	**1266**	**1344**	**1350**	**1320**	**216**	**227**	**229**	**224**	**79**	**89**	**87**	**85**
PD	**1003**	**1000**	**1021**	**1008**	**63,4**	**66**	**66**	**65,1**	**201**	**204**	**209**	**204,7**

PVD: Pays en voie de développement**; PD:** Pays développés

Tableau 5. Production, importations et exportations du blé à travers le monde (Unités: millions de tonnes) (FAO 2012; AGPB, 2013).

	Production				Importations				Exportations			
	08/10 Moyenne	2011 Estimé	2012 Prévu	**Moyenne**	08/09-10/11 Moyenne	2011/12 Estimé	2012/13 Prévu	**Moyenne**	08/09-10/11 Moyenne	2011/12 Estimé	2012/13 Prévu	**Moyenne**
Asie	287,8	313,4	302,2	301,1	60,6	61,9	52,4	55,9	13,5	17,1	15,7	15,4
Afrique	22,9	28,8	21.9	25,4	38,1	39,7	32,2	39,1	1	0,9	0,7	0,9
USA	114,4	107,7	111,5	111,2	22,9	25,3	25	24,4	51,3	55,9	57,6	55,1
Europe	225,8	223,8	213,2	220,9	7,9	9,8	10,3	9,3	45,2	43,1	41,9	43,4
Océanie	24	26,3	48,2	24,7	0,8	0,7	15,1	5,5	20,5	20,4	19,1	19,8
Au Monde	674,9	700	675,1	683,3	130,3	137,4	135	134,2	131,5	137,4	135	134,6
PVD	**309,2**	**330**	**321,8**	**320,3**	**105,3**	**108,2**	**106,5**	**106,7**	**17,9**	**21**	**19,6**	**19,5**
PD	**365,7**	**370**	**353,3**	**363**	**25**	**29,2**	**28,5**	**27,6**	**113,6**	**116,5**	**115,4**	**115,2**

PVD: Pays en voie de développement**; PD:** Pays développés

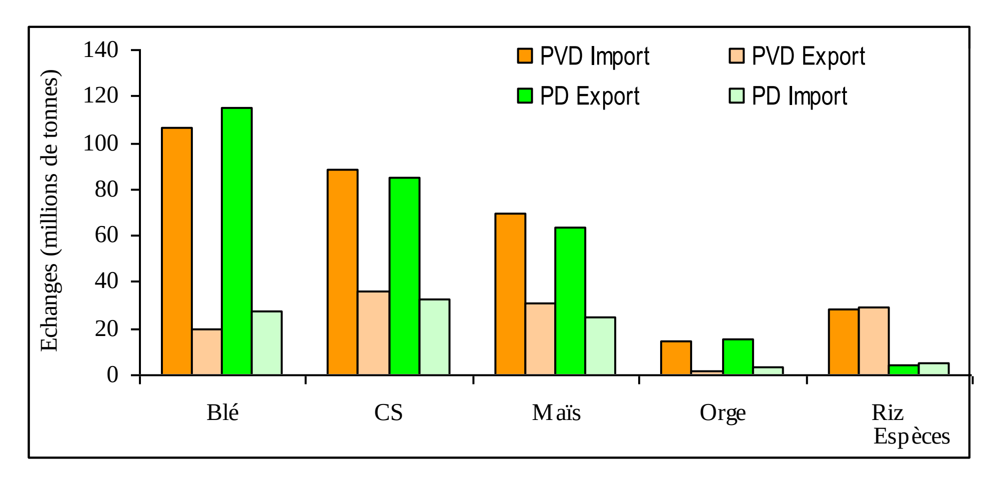


Figure 2. Echanges commerciaux des produits céréaliers entre les pays développés (PD) et les pays en voie de développement (PVD) (CS: Céréales secondaires) (FAO, 2012).

2.2.2. Céréales biologiques

A la fin de l'année 2010, la superficie mondiale des céréales Bio a atteint 2,5 millions d'hectares qui représente 0,4 % des superficies totales conduites en cultures biologiques. Elle comprenait principalement le blé tendre, le blé dur et l'épeautre. Les plus importants pays producteurs de céréales Bio sont les Etats-Unis (367 420 ha en 2008), le Canada (207 191 ha en 2009), l'Allemagne (207 000 ha en 2010) et l'Italie (194 974 ha en 2010) (Agence BIO, 2012).

3. Importance économique des céréales conventionnelles en Tunisie

3.1. Production des céréales pluviales

Les céréales sont les produits de base qui constituent la majeure partie de la ration alimentaire du citoyen Tunisien. Elles lui assurent 54 % et 64 % de ses besoins alimentaires respectivement en calories et en protéines. Elles représentent en moyenne 16 % de ses dépenses alimentaires et environ 6 % de ses dépenses globales. La consommation par tête d'habitant et par an est de l'ordre de 206 Kg de céréales dont 51 % du blé dur et 41 % du blé tendre.

Le secteur céréalier contribue à l'Economie Tunisienne avec environ 13 % de la production agricole et 16 % dans le Revenu National Agricole. Il occupe 51 % des Exploitations Agricoles et offre en moyenne l'équivalent de 2,5 millions de journées de travail par an, soit 9 % des journées de travail offertes par le secteur agricole.

Durant la décennie 2005-2014, la superficie moyenne emblavée en céréales est de 1368,7 mille ha et représente 27 % de la superficie agricole utile. Elle est répartie en 64 % dans le Nord, 30 % dans le Centre et 6 % dans le Sud du pays. Il est à constater que les

superficies emblavées ont connu une légère augmentation dans le Nord, une légère régression dans le Centre et une stagnation dans le Sud (Figure 3a).

Durant la même décennie, la production moyenne des céréales, ayant atteint 18 607 mille Qx, est distribuée d'une façon disproportionnelle en fonction des zones bioclimatiques (Figure 3b). Elle est la plus importante dans le Nord (81,12 %), faible dans le Centre (17,22 %) et négligeable dans le Sud (1,65 %).

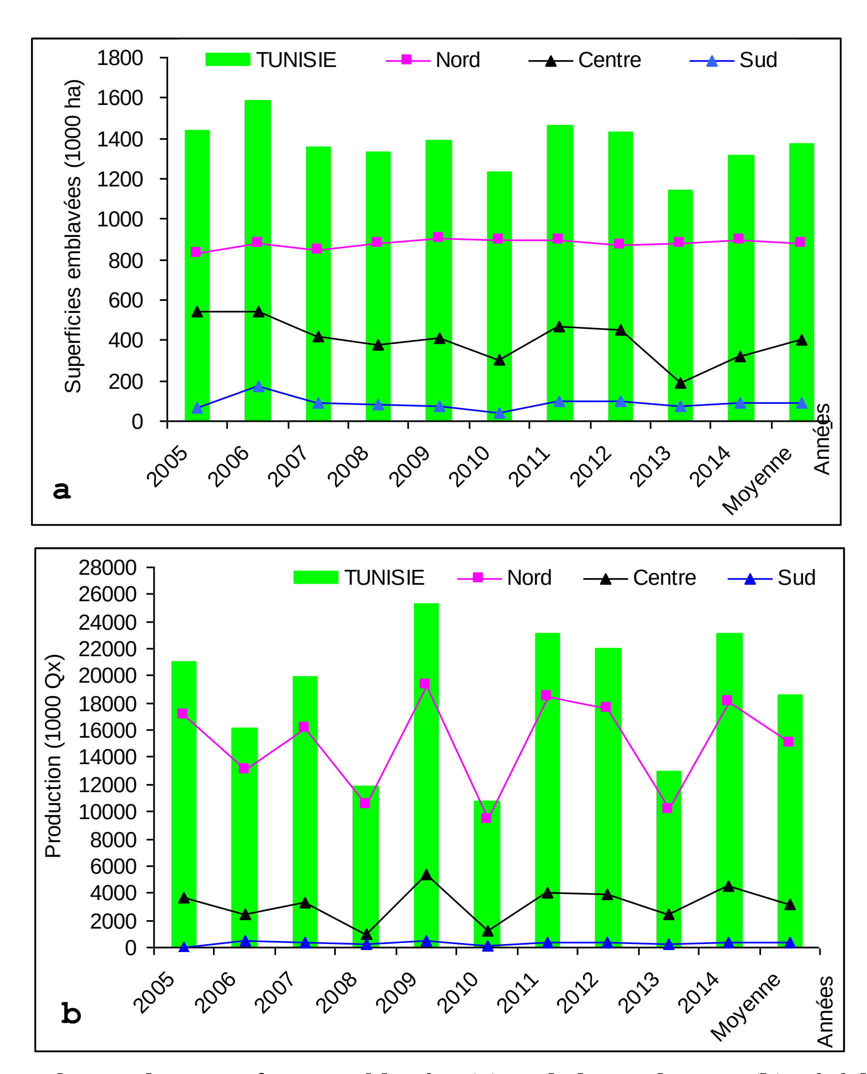
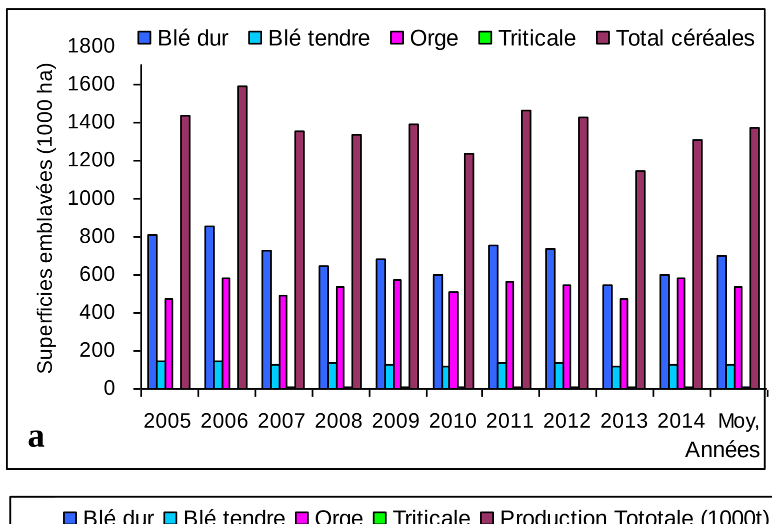
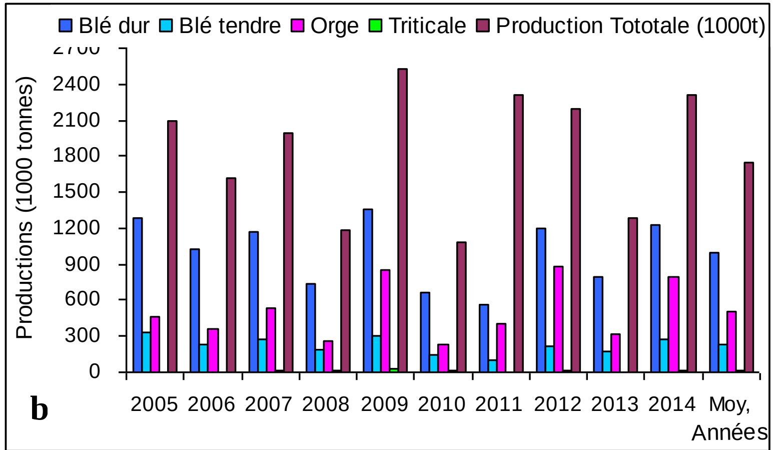


Figure 3. Evolution des superficies emblavées (**a**) et de la production (**b**) céréalière durant le quinquennat 2005 – 2014 dans les grandes zones bioclimatiques du territoire Tunisien

Les superficies moyennes emblavées en fonction des principales espèces céréalières sont composées de 696 620 ha de blé dur (50,9 %), 131 110 ha de blé tendre (9,6 %), 533 690 ha d'orge (39 %) et 7 000 ha de triticale (0,5 %) (Figure 4a). La production céréalière est composée, principalement, de 1 002,695 mille tonnes de blé dur (57,3 %), 224,993 mille tonnes de blé tendre (12,9 %), 509,58 mille tonnes d'orge (29,1 %) et 11,420 mille tonnes de triticale (0,7 %) (Figure 4b). La culture du triticale est limitée aux zones humides et subhumides dans les régions du Nord.





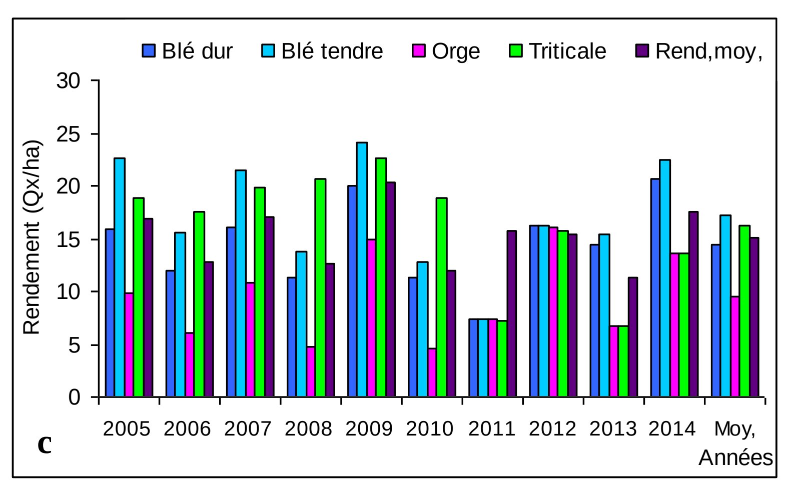


Figure 4. Variations des superficies emblavées (**a**), de la production (**b**) et du rendement (**c**) des principales espèces céréalières cultivées en Tunisie durant le quinquennat 2005 - 2014

Le rendement moyen de ces espèces céréalières est de 15,16 Qx/ha avec 14,5 Qx/ha pour le blé dur, 17,2 Qx/ha pour le blé tendre, 9,46 Qx/ha pour l'orge et 16,15 Qx/ha pour le triticale (Figure 4c). Le faible rendement de l'orge est du au fait que la culture de cette espèce est généralement localisée dans les zones semi arides et les sols marginaux.

La Tunisie, dont le climat est Méditerranéen, est caractérisée par des années humides et des années de sècheresse printanière ou intermittente et/ou de sècheresse terminale traduite par un déficit hydrique conjugué à un stress thermique. De tels aléas climatiques ont engendré des fluctuations énormes des superficies récoltées et des productions céréalières (Figures 4a et 4b). Au cours de la décennie 2 005- 2014 le ratio des superficies récoltées par celles qui ont été emblavées a varié de 51 à 96,2 % avec une moyenne de 81,2 % (Figure 5). A titre indicatif, durant les années 2010, 2008 et 2013 les superficies récoltées étaient les plus faibles et ont représenté respectivement 51; 60 et 66 % des superficies emblavées avec des productions les plus faibles respectives de 10 796, 11 880 et 12 900 mille Qx. Alors qu'au cours des années 2009 et 2014, les taux des superficies récoltées par celles emblavées étaient respectivement de 92 et 96 % avec des productions records respectives de 22 000 et 25 336 mille Qx. ayant permis de couvrir les besoins de la Nation en cette denrée alimentaire (Figures 4a et 4b).

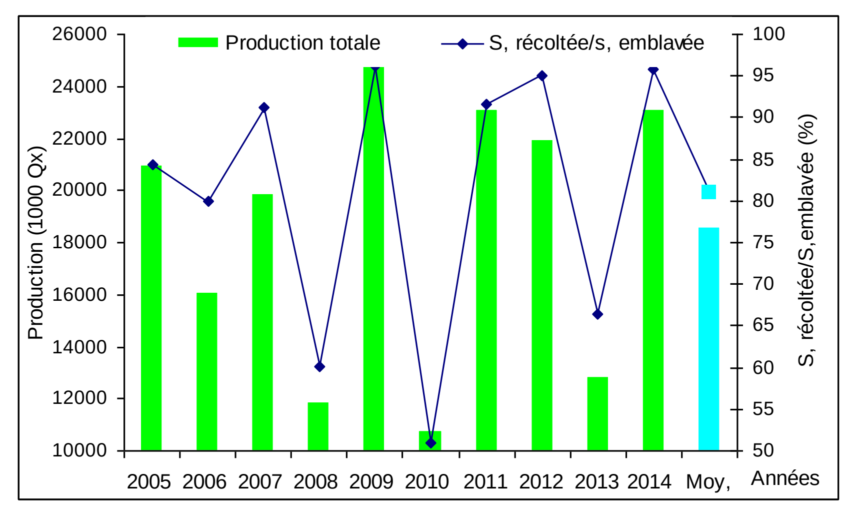


Figure 5. Variations de la production totale des céréales et des rapports des superficies (Récoltées / Emblavées) durant la décennie 2005 - 2014.

3.2 -Production de céréales irriguées

Durant le quinquennat 2009 – 2014, la superficie des céréales irriguées a varié de 83,6 à 114 mille hectares avec une moyenne de 94,9 mille hectares (Figure 6) dont 58 % sont localisées dans les régions du Nord et 48 % dans les régions du Sud et du Centre.. Elle représentait en moyenne 7,35 % des superficies totales emblavées en céréales.

Dans les régions du Nord les espèces conduites irrigué sont le blé dur (73,7 %), le blé tendre (12,6 %), l'orge (13,2 %) et le triticale (0,6 %). Par contre dans le Centre et le Sud, l'orge irriguée vient en première position (48,4 %), suivi par le blé dur (47,7 %) et en fin le blé tendre (3,9 %).

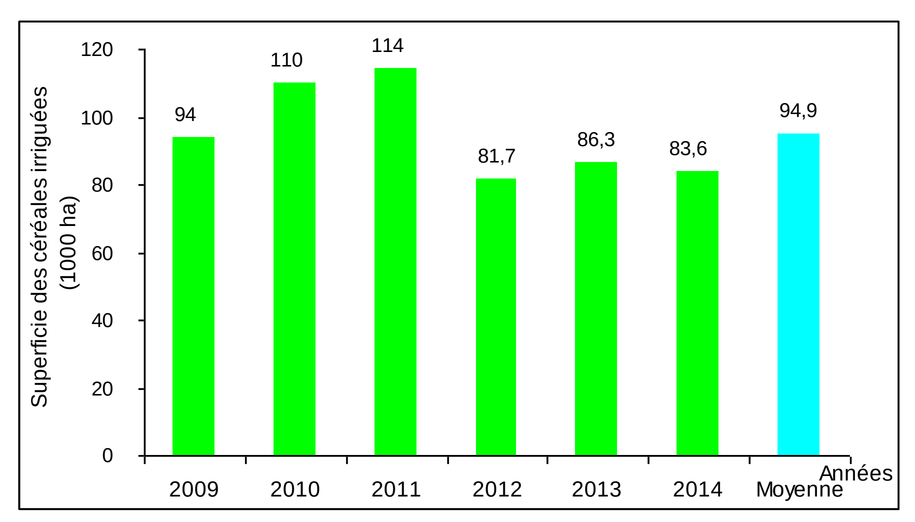


Figure 6. Superficies des céréales irriguées durant la décennie 2005 – 2014

La production des céréales irriguées représente 21,5 % de la production céréalière totale avec une moyenne annuelle de 3225 milles Qx et un rendement national de 33 Qx/ha. Cette moyenne est très loin du potentiel moyen des variétés tunisiennes améliorées (70 Qx/ha). Ce rendement moyen reste plus faible que l'objectif à atteindre (50 Qx/ha) jugé économiquement rentable. Pourtant, en 2 009, le rendement moyen des céréales irriguées a dépassé les 50 Qx/ha. Quelques parcelles irriguées dans le gouvernorat du Kef, ont donné 90 Qx/ha de blé dur et 95 Qx/ha de blé tendre. En réalité l'eau n'est plus le principal facteur limitant de la production dans les périmètres irrigues. L'intensification des cultures irriguées est liée surtout à la mauvaise gestion des techniques culturales, notamment: l'absence de rotation et la dominance de la monoculture, le mauvais choix variétal, le semis tardif, la non maîtrise des principes de pilotage de l'irrigation, la mauvaise gestion de la fertilisation azotée, la lutte contre des mauvaises herbes, les maladies et les ravageurs…

3.3. Coûts de production des céréales

Durant la période 2004 – 2010 les coûts de production des céréales, notamment, le blé dur, le blé tendre, l'orge et le triticale, ont connu une croissance vertigineuse. En 2010, ils sont revenus à 43 D/q pour le blé dur, 35 D/q pour le blé tendre, 30 D/q pour l'orge et 20 D/q pour le triticale (Figure 7).

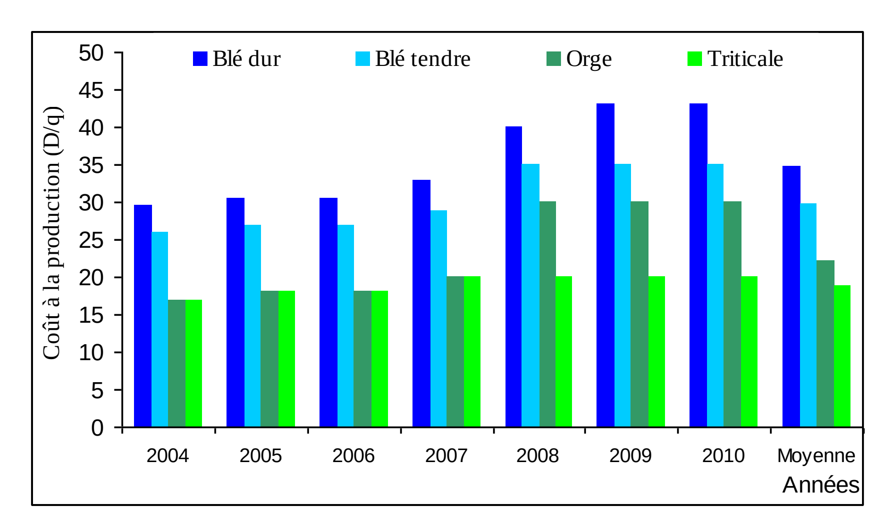


Figure 7. Variations du coût moyen de production du blé dur, du blé tendre, de l'orge et du triticale cultivés en Tunisie durant la décennie 2000 - 2010.

3.4. Importations des céréales

Durant le 11ème plan, les importations moyennes en Blé dur, Blé tendre et en Orge ont totalisé 1 733,2 milles tonnes avec une augmentation de 2,6 % par rapport au 10ème plan (Tableau 6). Le blé tendre occupe la première position (54,5 %) suivi par l'orge (25,4 %) et le blé dur (23,5 %). Les importations les plus élevées ont été enregistrées durant les années 2007 et 2008 avec des quantités respectives de 2 519,4 et 2 276,5 milles tonnes et une valeur moyenne de l'ordre de 500 millions de Dinars qui représentait 1,13 % du PIB. Il est à noter qu'entre 2004 et 2007, la subvention à la consommation des céréales a été augmentée de 70 %.

Tableau 6. Evolution des importations des céréales en Tunisie (1000 tonnes)

	Moy. 10ème plan	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Moy, 11ème plan
Blé dur	317,1		76	236,2	609,2	658,8	435,4	423,7	406,55
B. tendre	902,8	895	832	1030,4	1122,5	1107,9	793,8	829,2	944,4
Orge	470	199	636	617,4	787,7	509,8	65,6	266,8	440,33
Total	1689,9	1094	1544	1884	2519,4	2276,5	1294,8	1519,7	1733,2

4. Importance économique des céréales biologiques en Tunisie

En Tunisie, l'agriculture biologique est relativement récente. Elle a débutée en 1997 avec une superficie de 300 ha. En 2012, cette superficie a atteint 196 900 ha et représentait 2,01 % de la SAU avec une production totale de 243 000 tonnes. Dans ce secteur, la Tunisie occupe le 35ème rang au niveau mondial et la 1ère place parmi les pays Africains.

Durant la période 2004/2012, la superficie emblavée en céréales Bio a fluctué de 1 200 à 1 750 ha soit de 0,61 à 0,79 % des cultures biologiques totales. En 2012, la production en céréales Bio a atteint 3 100 tonnes. Vu l'importance socio-économique de ce type de culture, ces résultats restent très modestes. En Tunisie la production de céréales Bio mérite d'être promu.

5. Contraintes de la production des céréales en Tunisie

Les rendements enregistrés des cultures céréalières, conduites en sec et en irrigué, sont faibles. La production fluctue d'une campagne agricole à une autre (Figure 5). Outre les Contraintes Economiques Internationales imposées par les Pays Développées aux Pays en Voie de Développement, notamment, la Tunisie, des facteurs biotiques, abiotiques et d'ordre technico-économique ont contribué à l'édification d'une telle situation de déficit. Parmi ces facteurs, il serait utile d'énumérer:

⇒ Suite à l'explosion démographique que le pays a connu ces dernières décennies, la demande en céréales a dépassé de loin la Production Nationale et la Productivité par Tête d'Habitant. Un déficit en cette denrée alimentaire est fortement ressenti. En fait, le blé dur, qui représente 70 % de la production des céréales, satisfait en moyenne 72 % de la demande nationale. La production de blé tendre couvre à peine 20 % des besoins nationaux (Bachta, 2011). En revanche, le recours aux importations des céréales représente la solution immédiate et urgente pour combler les déficits enregistrés (Tableau 6).

⇒ Le morcellement des terres agricoles a engendré une réduction de la taille des exploitations. En fait, 97 % de ces dernières ont une superficie inférieure à 50 ha. Les exploitations de tailles moyennes et de grandes tailles ne représentent respectivement que 2 et 1 %. En outre, le nombre des petites exploitations, de tailles inférieures à 10 ha, est en croissance continue (Tableau 7). Comme les propriétaires de cette catégorie d'exploitations sont démunis de moyens financiers, elles restent sous exploitées avec une production et une rentabilité faible à nulle.

⇒ Compte tenu du problème d'endettement des céréaliculteurs, le financement de la campagne céréalière reste posé avec acuité pour les petites exploitations dont la superficie ne dépasse pas 10 ha et qui représentent 75 % du nombre total des exploitation agricoles.

Tableau 7. Evolution du nombre d'exploitations agricoles en fonction de leurs tailles (DGEDA, 2006).

Taille de l'exploitation	**Enquête**					
	1961-1962		**1994-1995**		**2004-2005**	
	Nombre (1000)	%	Nombre (1000)	%	Nombre (1000)	%
Moins de 5 Ha	133	41	251	53	281	54
De 5 à 10 Ha	73	22	92	20	109	21
De 10 à 50 Ha	106	32	114	24	112	22
De 50 à 100 Ha	9	3	10	2	10	2
100 Ha et plus	5	2	4	1	4	1
Total	**326**	**100**	**471**	**100**	**516**	**100**

⇒ Le secteur agricole est géré par plus de 81 % des exploitants âgées de plus de 40 ans (Tableau 8) dont le niveau d'instruction scolaire est très réduit et parfois même faisant défaut. Au cours des cinq dernières années, les exploitants ayant bénéficié d'une formation technique favorable pour des productions de hauts rendements ne représentent que 3,3 % de la totalité des exploitants qui ont investi dans des Projets intégrés. Par contre, le reste, soit 96,7 % des exploitants n'ont reçu aucune formation en la matière (DGEDA, 2006).

Tableau 8. Evolution de la proportion des exploitants selon leurs âges (DGEDA, 2006)

Age des l'exploitant	**Enquête**					
	1961-1962		**1994-1995**		**2004-2005**	
	S	**E**	**S**	**E**	**S**	**E**
Moins de 40 ans	33	27	21	19	13	11
De 40 à 60 ans	46	49	42	41	44	43
60 ans et plus	21	24	37	40	43	46

S: Superficie (en 1 000 ha); E: Exploitants (en %)

⇒ Le recours aux organismes spécialisés en production céréalière est très limité. En fait, seulement 20% des exploitants font appel aux vulgarisateurs des Commissariats Régionaux de Développement Agricole (CRDA) et près de 10% font appel aux services des Experts Agricoles. Les Groupements Interprofessionnels, les Conseillers Agricoles et les Centres de Formation Professionnelle ne sont sollicités que par une minorité très limitée (DGEDA, 2006).

⇒ L'insuffisance des moyens matériels et logistiques mis à la disposition des vulgarisateurs a fait que peu de messages innovants arrivent à l'agriculteur et que le suivi de leurs impacts fait défaut.

⇒ Il y a une absence presque total des structures professionnelles nationales et locales, autre que l'Office de Céréale, qui regroupent les céréaliers pour les appuyer sur le

plan commercial, tel que l'approvisionnement en intrants, l'écoulement de la production…, et sur le plan de développement entre autres les investissements et le choix de spéculations.

⇒ Le climat méditerranéen de la Tunisie est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux et humide avec une fréquence d'une année de sècheresse sur trois. Les stress hydrique et thermique assez fréquents menacent les cultures céréalières à divers stades de leur développement. Tous ces facteurs écologiques ont fait que la production est toujours limitée ou parfois même anéantie.

⇒ Il y a un manque de variétés sélectionnées à haut rendement spécifiques pour la conduite en cultures pluviales ou intensives et tolérantes ou résistantes aux maladies cryptogamiques endémiques notamment la Septoriose, les rouilles, la carie, les charbons, les piétins, la fusariose, l'oïdium, la rhynchosporios, l'helminthosporiose…

⇒ L'absence d'une infrastructure de base pour l'irrigation des céréales à grande échelle conjuguée à une pénurie d'eau d'irrigation aux moments opportuns, particulièrement durant les phases de remplissage et de la maturité des grains, handicape l'augmentation de la production céréalière.

⇒ La gamme de variétés sélectionnées mises à la disposition des céréaliculteurs est limitée à Amal, Maghrebi, Ben Bachir et Karim comme blé dur et Dougga, Carthage, Tanit et Salambô comme blé tendre. La variété Karim représente à elle seule 50 à 60 % des emblavures de blé dur et Salambo représente presque autant pour le blé tendre, les autres variétés sont secondaires.

⇒ Les exigences édapho-climatiques des espèces céréalières, notamment, le blé, l'orge, le maïs, l'avoine, le triticale… et des variétés à hauts rendements ne sont pas respectés. Parfois, elles sont cultivées dans des régions marginales ou non appropriées.

⇒ L'application des recommandations techniques est rarement réalisée. En d'autres termes, seulement, 48 % des superficies sont emblavées avec des semences sélectionnées, 63 % sont fertilisées et 40 % sont traitées contre les mauvaises herbes. La préparation adéquate du sol, la densité de semis, la rotation des cultures…n'est pas toujours prise en considération.

⇒ Les traitements phytosanitaires des semences et des cultures contre les maladies cryptogamiques et autres dont la prolifération à grandes échelles rapide ne sont pas appliqués. En fait, une infection estimée à 10 % fait réduire la production de 10 %.

6. Encouragements de l'Etat pour la promotion du secteur céréalier

Vu l'importance capitale de ce secteur dans l'Economie Nationale, le Gouvernement Tunisien n'a jamais cessé d'investir pour le promouvoir. Certaines dispositions ont été entreprises depuis longtemps:

⇒ Accorder des subventions et des crédits à moyen terme pour l'équipement en matériel agricole: tracteurs, charrues, herses, semoirs, pulvérisateurs, moissonneuses batteuses…, et des crédits de campagne pour l'achat de semences sélectionnées, des intrant: engrais (Diammonium phosphate (DAP), Super $_{16}$, Ammonitrate $_{33.5}$) et des produits de traitement (désherbants chimiques, fongicides, insecticides...);

⇒ Réviser, systématiquement, les taux des Crédits Agricoles alloués aux agriculteurs du secteur céréalier et qui sont régis par La Banque Nationale Agricole;

⇒ Rééchelonner les crédits agricoles non remboursés suite à une année de sècheresse ou bien un sinistre tel que les incendies, la chute de grêle…;

⇒ Allouer des aides en nature (engrais, semences sélectionnées, fongicides, désherbants chimiques…) aux petits exploitants;

⇒ Créer l'Office des Céréales en tant qu'Organisme National qui monopolise et gère le secteur céréalier sur les plans technique et commercial à l'échelle nationale et internationale;

⇒ Assurer les besoins du pays et instaurer une réserve en semences sélectionnées par le biais des multiplicateurs qui sont suivis et contrôlés par la Coopérative Centrale des Grandes Cultures et autres;

⇒ Créer des laboratoires qui contrôlent et certifient la qualité des semences;

⇒ Faciliter l'échange des semences sélectionnées contre des semences de production ordinaire auprès de l'Office des céréales;

⇒ Maintenir les prix des semences sélectionnées, des intrants et des produits de traitement;

⇒ Encourager les exploitants à assurer leurs cultures, auprès des Organismes d'Assurance, contre les aléas climatiques, notamment, la grêle et les incendies;

⇒ Créer un Etablissement d'Enseignement Supérieur Agricole spécialisé en cultures céréalières (Institut Supérieure Agricole du Kef (ISAK));

⇒ Renforcer les Projets de Recherches en matière de céréales au sein des Institutions de recherche telles que l'INRAT, l'INGREF, l'INAT, l'ISAK…

⇒ Créer un Centre Technique des Céréales pour renforcer la vulgarisation et le transfert technologique auprès des exploitants et intensifier les recherches sur les techniques de production céréalières;

⇒ Instaurer des Projets de Coopération Technique Internationale avec la FAO, l'ICRISAT, l'ICARDA…

⇒ Créer «l'Unité céréales » à l'échelle centrale, au sein la Direction Générale de la Production Agricole pour concrétiser la stratégie céréalière et coordonner les actions moyennant de l'installation d'une cellule d'encadrement et des Centres de Gestion dans 13 gouvernorats du Nord du pays.

⇒ Instaurer un système de vulgarisation des techniques de production et de suivi des emblavures et des récoltes céréalières régi, à l'échelle régionale, par les Commissariats Régionaux de Développement Agricole;

7. Conditions édapho-climatiques du territoire Tunisien

7.1. Situation géographique et relief de la Tunisie

La Tunisie, sise entre les longitudes 7° et 12° Est et les latitudes 32° et 38° Nord, couvre une superficie de 16.361.000 ha. La superficie agricole utile (SAU) représente 32,4 % de la superficie totale du territoire, soit 5 300 000 ha. Son relief se caractérise par quatre grandes régions:

⇒ Le Tell, situé au Nord de la Tunisie, couvre les monts de Kroumirie et de Mogods, le Haut Tell, le Tell du Nord-Est. Il est caractérisé par un mélange de reliefs montagneux et de plaines;

⇒ La Dorsale, une chaîne de montagnes qui s'étendent du Sud-Ouest à partir des Monts de Tebessa, à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien avec un point culminant (1 544 m d'altitude) à Djebel Echaâmbi, vers le Cap Bon au Nord-Est.

⇒ Les Steppes, notamment les basses et les hautes steppes, représentent la Tunisie centrale et regroupent un ensemble de plaines et de montagnes qui s'étalent des pieds de la Dorsale jusqu'au nord de Gafsa;

⇒ Le Sud, qui couvre la région de Gafsa, le Sahara, le Dahar et la Jeffara, forme une vaste zone composée d'un ensemble de reliefs très diversifiés particulièrement des montagnes, des plateaux, des plaines, et un relief Saharien qui s'étend jusqu'aux frontières libyenne et algérienne.

7.2. Caractéristiques du climat Tunisien

La Tunisie peut être classée dans la zone subtropicale méditerranéenne, avec un climat caractérisé par une alternance régulière de deux saisons fortement contrastées et deux inter-saisons ou périodes transitoires:

⇒ Un été, chaud et sec de durée très variable, correspond approximativement aux mois de juin, juillet et août;

⇒ Un hiver humide se distingue par une douceur relative. Il représente la saison des pluies caractérisées par leur extrême irrégularité.

⇒ Les inter-saisons, l'automne et le printemps, sont des périodes transitoires où peuvent se produire, simultanément, quelques situations typiques de l'hiver ou de l'été.

Par sa position géographique et l'orientation générale de ses principaux reliefs de l'Est à l'Ouest, la Tunisie se distingue par un climat méditerranéo-saharien, avec des contrastes régionaux assez marqués. Elle est influencée au Nord par la mer Méditerranée et au Sud par le Sahara. Quant au Centre, il est sous l'influence conjugué de ces deux climats.

La température y est conditionnée par deux facteurs importants: le relief et la proximité de la mer. Au nord de la Dorsale, la température moyenne annuelle est de l'ordre de 17 °C. Au sud de la Dorsale, elle varie de 18,5 à 19,5 °C et peut même atteindre 21,5 C° dans le Sud-Ouest.

Le régime pluviométrique Tunisien est caractérisé par des apports relativement modestes, inégalement répartis dans l'espace et très irréguliers dans le temps. C'est ainsi que le 1/3 seulement du territoire Tunisien bénéficie d'une pluviométrie égale ou supérieure à 400 mm/an. Alors que les 2/3 du territoire reçoivent entre 400 et moins de 100 mm/an de pluie. Les précipitations se concentrent essentiellement entre les mois de septembre et mai avec une moyenne de 50 jours de pluie/an. Durant la période estivale la pluie est quasiment absente.

7.3. Les grandes régions agricoles de la Tunisie

Le climat Tunisien est largement affecté par l'aridité. La Dorsale Tunisienne et la ligne montagneuse qui se prolongent d'Ouest à partir de l'Algérie vers Est à la latitude de Gafsa, divisent la Tunisie en trois grandes régions bioclimatiques:

⇒ la Tunisie Septentrionale ou Tellienne, localisée au Nord de la Dorsale, est dominée par un climat Méditerranéen qui assure chaque année l'avènement d'une saison pluvieuse durant 2 à 8 mois/an. Le cumul pluviométrique annuel se situe entre 400 et 1 000 mm. Néanmoins, il dépasse parfois cette fourchette pour atteindre 1 500 mm sur les

régions montagneuses du Nord-Ouest. La variabilité inter-annuelle dans cette région est relativement faible. Cette pluviosité relativement régulière permet le développement d'une culture pluviale, surtout des blés dur et tendre, sur l'ensemble des terres arables. Elle réalise plus de 80 % de la production céréalière Tunisienne.

⇒ La Tunisie Centrale ou Steppique semble être une zone de transition entre le climat méditerranéen et le climat saharien qui y apparaissent en alternance au cours des années. La pluviométrie annuelle, insuffisante et irrégulière, connaît de fortes variabilités inter-annuelles et varie de 200 à 400 mm. Selon les caractéristiques de la campagne agricole, elle impose un système de culture extensif en sec et une mise en culture très variable. Les performances des cultures céréalières sont généralement très faibles et toujours aléatoires. Il est recommandé d'y pratiquer les céréales secondaires, notamment, l'orge.

⇒ La Tunisie Saharienne est marquée par une aridité constante. La pluviométrie, variant de 200 à moins de 100 mm, est caractérisée par une forte variabilité inter-annuelle. Le bilan hydrique y est très déficitaire et peu variable d'une année à l'autre. La demande climatique en eau varie de 1 600 à 1 800 mm/an. L'agriculture, conditionnée par des apports en eau d'irrigation dont l'efficience est limitée, est localisée dans la zone littorale de Zarzis et de Djerba et les Oasis. Les zones agricoles sont aménagées par la collecte des eaux de surface notamment l'épandage des crues, l'impluvium et les jessours.

7.4. Territoires céréaliers de la Tunisie

A l'intérieur de la Tunisie Septentrionale, les différences des climats et de sols distinguent plusieurs sous régions céréalières (FAO, 1987) (Figure 8), dont notamment:

⇒ Le Haut tell Septentrional, qui couvre la Kroumirie et les Mogods, est une zone pluvieuse et humide dont les sols sont formés à partir de grès siliceux ou d'argile compacte et hydromorphe. Il s'agit d'une zone forestière où la céréaliculture ainsi que les autres spéculations agricoles sont faiblement développées dans les clairières.

⇒ Le Tell Inférieur couvre la région de Bizerte, la Basse Vallée de la Medjerda, les régions de Tunis et du Cap Bon. Il est marqué par une forte concentration humaine, une diversification des cultures et une extension du périmètre irrigué. Le gradient pluviométrique décroissant, la qualité des sols et l'extension des agglomérations tendent la production céréalière vers le Nord notamment les régions de Tebourba et d'Utique.

⇒ Le Haut Tell couvre les régions de Zaghouan, entre la Dorsale au Sud est les monts de la Medjerda au Nord. Il représente une succession de plaines et de chaînons

calcaires. On y trouve, ainsi, de l'Ouest vers l'Est, les bassins versants de Mellegue, de Tebessa, de Siliana et de Miliane. Le climat se caractérise par une continentalité de plus en plus accentuée vers l'Ouest et par une pluviosité, marquée par une irrégularité interannuelles, comprise entre 300 et 400 mm dans les plaines et sur les contreforts montagneux. Les sols y sont assez hétérogènes formés par des alluvions profondes dans les plaines avec quelques accidents de salinité, d'argiles rouges et de croûtes calcaires sur les piedmonts. L'érosion est forte sur les versants calcaires et gréseux. La céréaliculture y est omniprésente. Les rendements y sont moyens et parfois assujetis à des chutes spectaculaires à cause de l'échaudage.

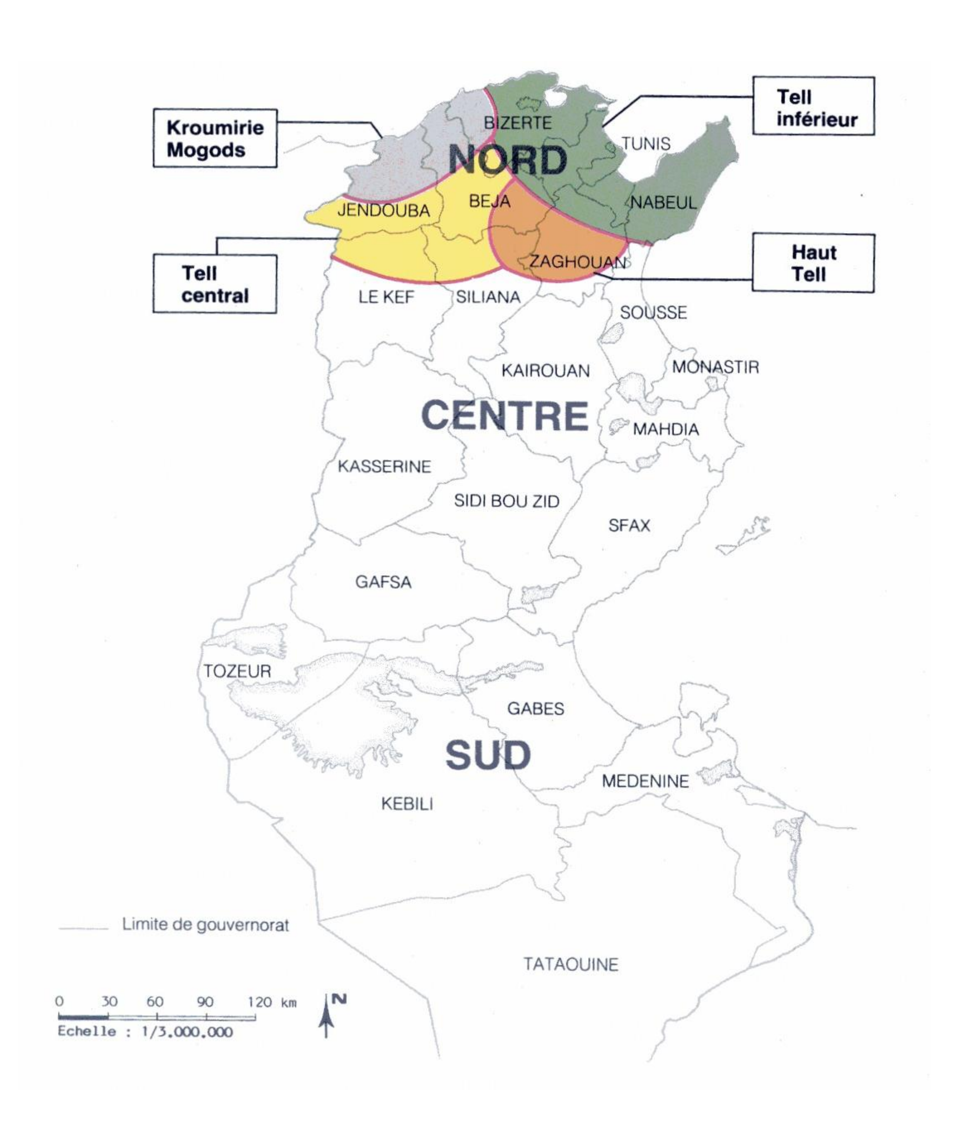


Figure 8. Les grandes zones bioclimatiques du territoire Tunisien destinées pour la production des céréales (FAO, 1987).

8. Assolement - Rotation des cultures

8.1. Définitions

L'assolement est la répartition spatiale des différentes productions végétales au sein d'une exploitation, par laquelle on cherche à respecter les règles de rotation. De même, il est défini comme étant l'alternance d'une culture principale avec une jachère travaillée ou non, une cultures dérobées ou bien une cultures fourragère. L'assolement semble la principale méthode de rotation des cultures, permettant une meilleure exploitation des sols et leur reconstitution naturelle.

La rotation est la succession ou la répartition temporelle de plusieurs cultures sur une même parcelle ou «sole». On distingue deux types de rotations suivant que l'alternance se fait selon les familles des espèces cultivées telles que les céréales, les légumineuses, les oléagineuses… ou bien selon les périodes de cultures notamment de printemps ou d'hiver.

A titre d'exemple, dans une exploitation de 150 ha:

⇒ L'assolement est: 40 ha Blé dur, 20 ha Blé tendre, 40 ha Orge, 30 ha Cultures maraîchères. L'Arboriculture fruitière, couvrant 20 ha, est hors assolement.

⇒ La rotation quadriennale des cultures est: Cultures maraîchères → Blé dur → Blé tendre → Orge.

Une rotation convenable, particulièrement en agriculture biologique, doit respecter un certain nombre de principes tels que:

⇒ Intégrer systématiquement une légumineuse en tête de rotation;

⇒ Consacrer 20 à 30 % de l'assolement aux légumineuses;

⇒ Alterner une culture d'été et une culture d'automne pour limiter la concurrence des adventices;

⇒ Proscrire la monoculture et intégrer un engrais vert;

⇒ Choisir des cultures et des variétés adaptées au type de culture irriguée ou pluviale, de sol, de climat et des possibilités de commercialisation;

⇒ Intégrer en fin de rotation des cultures nettoyantes légumineuse, maïs, protéagineuse...

8.2. Objectifs de l'assolement

L'assolement permet de:

⇒ Eviter la fatigue du sol

La culture d'une même espèce végétale durant plusieurs années successives sur une même parcelle ou «sole», pourrait engendrer deux phénomènes:

- ➢ L’accumulation de sécrétions radiculaires spécifiques, qui deviennent à la longue, toxiques pour l’espèce cultivée elle même.
- ➢ La fertilisation minérale non raisonnée conjuguée aux prélèvements spécifiques de la même espèce peut occasionner la formation de complexes minéraux non utilisables par la plante. Des phénomènes de mal nutrition ou carence en un ou plusieurs éléments fertilisants peuvent affecter négativement la production.

⇒ Exploiter les différentes couches du sol

L’alternance des espèces végétales, à systèmes radiculaires fasciculés et/ou pivotants, sur une même «sole» a de nombreux avantages entre autres:

- ➢ réduire les risques de destruction de la structure du sol et de l’érosion de la couche arable;
- ➢ éviter l’épuisement des sels minéraux nécessaires pour le développement des cultures;
- ➢ éviter la formation d’une couche de battance superficielle et une meilleure exploitation des différents horizons du sol;
- ➢ la décomposition du système radiculaire délaissé dans le sol après la récolte permet une fertilisation organique et une aération plus profonde du sol;

⇒ Lutter contre les mauvaises herbes

La succession des cultures fourragères destinées pour la coupe ou le pâturage avec des espèces sarclées destinées pour la récolte telle que le maïs, les légumineuses à graines ou autres… permet de lutter contre les mauvaises herbes. Ces dernières sont soit détruites par les travaux de reprise du sol ou faux semis, soit pâturées ou bien coupées. Leurs cycles de développement végétatif sont ainsi rompus avant la formation des graines.

⇒ Interrompre le cycle de vie des ennemis de culture

La conduite de la même espèce végétale sur la même « »sole» » favorise la prolifération des maladies endémiques, des parasites et des ravageurs. Ces derniers secrètent des toxines qui contribuent à leur prolifération. L’alternance des espèces végétales rompt leurs cycles de développement et limite leur propagation.

⇒ Améliorer le rendement et la rentabilité

Un assolement judicieux est un facteur déterminant de la production agricole en quantité et en qualité.

8.3. Types d’assolements

En Tunisie, différents types d’assolement sont pratiqués:

8.3.1. Assolement biennal

Il est réservé aux zones du semi-aride supérieur et moyen (Tableau 9). L'assolement « Medicago-blé » est convenable pour les céréaliculteurs éleveurs. Les deux variétés de Médicago (Jemalong et Harbinger) ont donné des résultats encourageants dans les régions dont la pluviométrie est supérieure à 350 mm.

Tableau 9 – Assolement biennal

1ère sole	2ème sole
Médicago (Var. Jemalong et Harbinger) ou Jachère Travaillée ou non ou Légumineuse	Blé Blé et Oge ou Triticale ou Fourrage Orge ou Triticale ou Fourrage

8.3.2. Assolement triennal

Il est pratiqué dans les zones subhumides et du semi-aride supérieur (Tableau 10).

Tableau 10. Assolement triennal

1ère sole	2ème sole	3ème sole
Légumineuse ou Culture Industrielle	Blé	Céréale Secondaire et/ou Culture Fourragère

8.3.3. Assolement quadriennal

Il est réservé pour les zones humides ou subhumides (Tableau 11). Il est basé sur une «sole» de tête améliorante telle qu'une légumineuse, une betterave ou bien un engrais vert, suivie par la céréale principale telle que le blé dur ou le blé tendre. La troisième «sole» consiste en un fourrage. La quatrième est une céréale secondaire notamment une orge ou bien une avoine.

Tableau 11. Assolement quadriennal

1ère sole	2ème sole	3ème sole	4ème sole
Betterave, Culture Industrielle ou Légumineuse	Blé	Orge ou Triticale et/ou Blé Tendre	Fourrage
Betterave	Blé	Légumineuse	Blé

L'assolement est tributaire des conditions du milieu de culture, en l'occurrence, les conditions climatiques (la pluviométrie et la température), la nature du sol (la structure et la texture), les conditions socio-économiques de l'agriculteur (petit, moyen ou grand céréaliculteur, éleveur ou bien Céréaliculteur-éleveur).

Généralement, au Nord de la Tunisie où la pluviosité est supérieure à 450 mm, les agriculteurs appliquent un assolement triennal. Dans les zones semi arides, qui sont

localisées au coté sud de la Dorsale Tunisienne (le Centre et le Sud du pays), l'assolement biennal est le plus adopté.

La monoculture est à éviter vu qu'elle a plusieurs inconvénients. En outre, elle entretient ou stimule le développement des populations d'agents pathogènes et de ravageurs (virus, bactéries, champignons, nématodes, insectes, …). Elle peut également favoriser les phénomènes de résistance aux traitements contre les ennemis communs à plusieurs cultures tels que les pucerons et les ennemis spécifiques tel que l'helmithosporise (*H. gramineum*) qui affecte l'orge et non pas le blé.

9. Semences

9.1. Contrôle de la qualité agronomique des semences

La qualité agronomique des semences est déterminée par les conditions de leur production et de leur stockage. Les stress biotiques et abiotiques, survenant au cours de la culture, ainsi que les mauvaises conditions de récolte, de transport et de stockage peuvent affecter la qualité agronomique des semences. A travers le territoire Tunisien, des Laboratoires, sous tutelle du Ministère de l'Agriculture, assurent l'Analyse des Semences.

9.1.1. Objectifs de l'analyse des semences

L'analyse des semences, effectués au niveau du producteur, avant la commercialisation, permet de:

⇒ Identifier les maladies et les parasites susceptibles de se développer, à partir des semences non traitées, sur la future culture et de prévoir les produits de traitements spécifiques.

⇒ Eviter l'utilisation des semences infectées par certaines maladies endémiques ou des parasites tels que les nématodes et celles qui sont endommagées par les charançons.

⇒ Evaluer la proportion des semences endommagées (cassées ou attaquées par les charançons ou autres) et augmenter la dose du semis pour remédier au risque d'un faible peuplement à l'hectare.

⇒ Déterminer, dans le lot de semence, les espèces des graines de mauvaises herbes et leur importance pour pouvoir agir au moment opportun avec les moyens appropriés. Certaines mauvaises herbes sont difficiles à combattre.

⇒ **D**éterminer la valeur agronomique de la semence (valeur agronomique = Faculté germinative * Pureté spécifique) pour prévoir les quantités fictives de semences nécessaires pour le semis.

9.1.2. Echantillonnage des semences

L'analyse doit être effectuée sur un échantillon représentatif qui reflète la qualité des semences. L'échantillonnage des céréales dépend surtout de l'état de stockage des semences, en vrac ou en sacs, dans les dépôts. Il est effectué par une personne qualifiée à l'aide d'une sonde spéciale (Figure 9). Le nombre de prélèvements varie de 5 à 30 selon l'importance du lot de semences. Les prélèvements, ainsi effectués, sont mélangés d'une façon homogène. Sur ce mélange, un échantillon de 1kg sera prélevé et fera l'objet des analyses.



Figure 9. Technique d'échantillonnage des semences céréalières.

9.2. Qualités des semences sélectionnées

9.2.1. Pureté spécifique

Les semences faisant l'objet d'une analyse (Figure 10) peuvent être:

⇒ Des semences pures de la même espèce.

⇒ Un mélange d'espèces: orge - blé, avoine - triticale, maïs - avoine...

⇒ Pourvues de semences de mauvaises herbes telles que la Folle avoine (*Avena fatua* et *Avena ludoviciana*), le Phalaris, la Moutarde...

⇒ Pourvues d'impuretés végétales et minérales telles que les débris végétaux, les chaumes, les glumes, les glumelles, les barbes, les petits cailloux, les grains de sables, la terre fine…



Figure 10. Analyse de la pureté spécifique d'un échantillon de semences céréalières..

Une semence de bonne qualité doit avoir une pureté spécifique élevée. Une semence pure, doit être dépourvue des débris végétaux, des déchets solides, des graines de mauvaises herbes…

9.2.2. Pureté variétale

Un lot de semence doit être formé d'une seule variété. Cette caractéristique est difficile à contrôler au niveau du laboratoire. L'épuration variétale doit être effectuée au champ au cours de développement de la culture sur la base de certains caractères morpho-phénologiques de la céréale. Généralement, des visites périodiques de contrôle technique et de suivi sont effectuées à la parcelle chez le multiplicateur des semences.

9.2.3. Poids de 1000 grains

Ce caractère agronomique est l'une des composantes du rendement en grains. Il traduit la bonne qualité des grains et l'alimentation hydrique et minérale de la culture. Il dépend, essentiellement, de l'espèce (Tableau 12), de la date et de la densité de semis, des conditions de conduite de la culture et du stockage de la récolte. En fait, il reflète l'impact des stress biotiques et abiotiques sur la culture et le produit récolté. Généralement, il est calculé à la norme commerciale du taux d'humidité. Comme il peut aussi être exprimé par rapport au taux de la matière sèche. Une baisse du poids de 1000 grains se traduit par une perte du taux de matière sèche.

Tableau 12. Poids moyens et fourchettes de variations du poids de 1000 grains du blé, de l'orge et du maïs aux normes commerciales. (ITCF, 2011).

Espèce de grains	Poids moyen de 1000 grains (en g)	Variations du poids de 1000 grains (en g)
Blé	43	35 à 50
Orge	45	40 à 50
Maïs	330	280 à 380

9.2.4. Poids spécifique

Le poids spécifique reflète le taux d'humidité dans les grains et l'état de remplissage de ces derniers en matière sèche sans avoir de relation avec sa valeur nutritive. Il est tributaire des stress biotiques et abiotiques qui ont affecté la culture, à savoir les attaques des maladies et des parasites, les accidents physiologiques, les stress hydriques et thermiques…et des conditions du stockage notamment, en vrac ou dans des sacs, à l'air libre ou dans un silo bien entretenu et ensoleillé ou bien humide et mal aménagé...

Le poids spécifique est inversement proportionnel à la teneur en eau dans les grains et dépend principalement du poids de 1 000 grains et de l'espèce. Il est mesuré avec une

trémie conique ou un boisseau et exprimé en kg/hl ou kg/m^3 (Tableau 13). Au laboratoire, il est calculé à partir des mesures effectuées avec un nilémalitre (Figure 11).

Tableau 13. Fourchettes de variations du poids spécifique du blé de l'orge et du maïs. (ITCF, 2011).

Espèce de grains	Poids moyen de 1 000 Grains (en g)	Poids spécifique (kg/m3)
Blé	43	750 à 850
Orge	45	650 à 750
Maïs	330	750 à 850

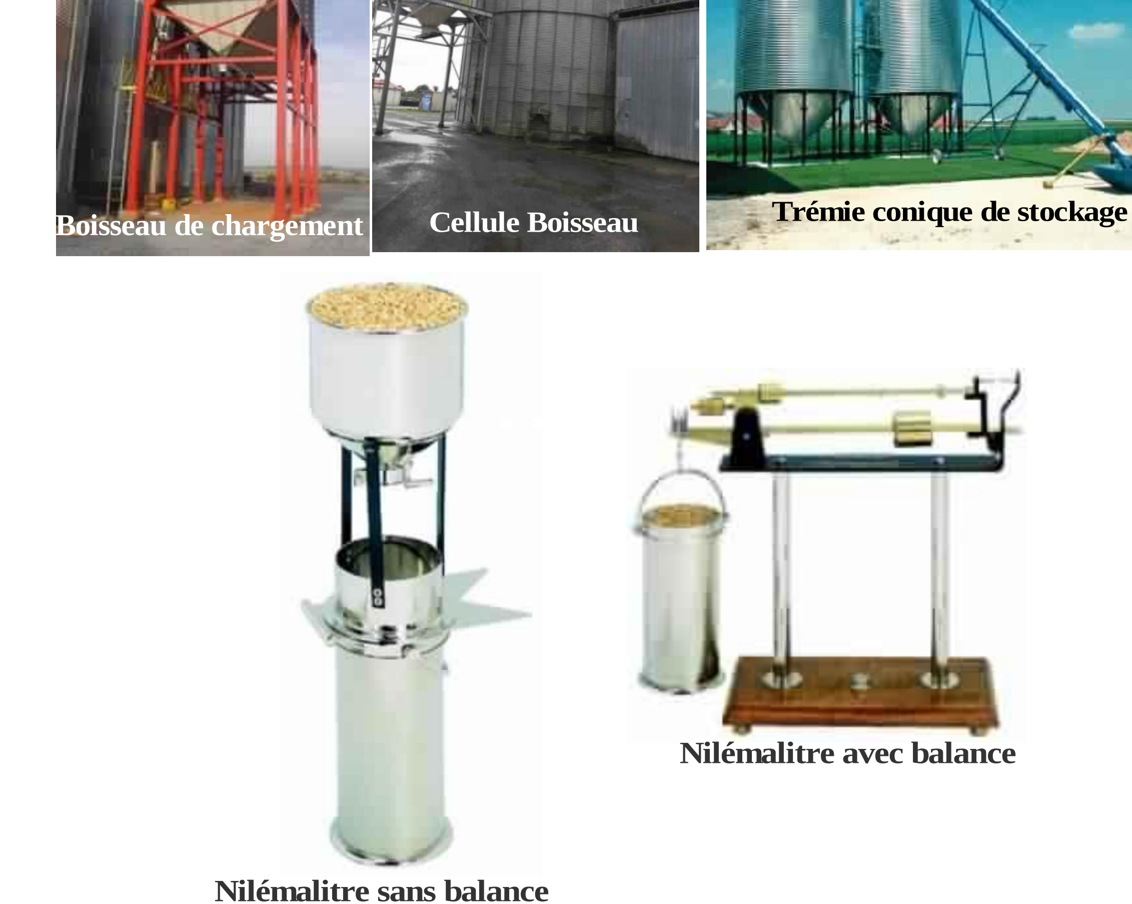


Figure 11. Equipements pour la détermination du poids spécifique.

Le poids spécifique d'une semence de bonne qualité est de 78 kg/hl pour le blé dur, 75 kg/hl pour le blé tendre, 60 kg/hl pour l'orge et 50 kg/hl pour l'avoine. Les résultats empiriques ont montré qu'il pourrait être augmenté de 0,5 à 1 kg/hl chaque fois que la

teneur en eau est réduite de 1 %. Comme il est influencé par les impuretés, selon la nature de ces dernières, on pourrait constater que:

⇒ l'élimination des grains cassés réduit le poids spécifique.

⇒ l'élimination des impuretés légères telles que les débris végétaux (paille, glumes, glumelles, barbes, etc.), fait augmenter le poids spécifique,

⇒ l'élimination des impuretés solides (cailloux, terre fine, etc...) fait que le poids spécifique diminue ou bien à la limite reste inchangé.

Dans les silos de stockage, avec le temps, les grains ont tendance à se tasser et se compacter. Le poids spécifique des grains a tendance d'augmenter.

9.2.5. Taux d'humidité

Le taux d'humidité d'une semence est inversement proportionnel à sa qualité et à sa durée de vie. Les semences de bonne qualité doivent être bien séchées avec un taux d'humidité inférieur ou égal à 12 %. Un taux d'humidité élevé dans les silos de stockage, supérieur à 14 %, occasionne la pourriture des semences suite au développement des moisissures et des saprophytes.

9.2.6. Faculté germinative

La faculté germinative ou pouvoir germinatif des semences est le pourcentage de grains germés durant une période de 7 à 10 j sous des conditions de germination contrôlées, notamment, la température, l'humidité et l'éclairage. Elle dépend des facteurs intrinsèques de la semence tels que la maturité physiologique, le taux d'humidité, l'état sanitaire et des facteurs extrinsèques tels que les conditions de la récolte et de la conservation surtout la salubrité des silos de stockage, la température, l'humidité relative, la lumière.... Une semence qui ne germe pas sous des conditions favorables, est soit à l'état de dormance soit elle a perdu son pouvoir germinatif ou morte. Suite à un traitement spécifique, si la germination a lieu les semences sont dites à l'état de dormance. Dans le cas contraire, elles sont mortes. La mort d'une semence résulte du vieillissement ou de la détérioration de son embryon sous l'effet d'un choc thermique ou mécanique, d'une infection ou autres.

Chez les céréales (Figure 12), une faculté germinative élevée est traduite par une levée rapide et homogène avec un développement vigoureux du coléoptile, du coléorhize et des racines primaires ou séminales (RS). Les vieillissement des semences engendrent une levée nulle ou retardée avec un développement d'organes végétatifs chétifs et rabougris.

Pour un lot de semences de céréales mis en germination sous des conditions contrôlées, les grains non germés peuvent être:

⇒ intacts: la semence n'a pas encore atteint sa maturité physiologique;

⇒ pourris: la semence a perdu son pouvoir germinatif à cause d'une infection par un germe pathogène notamment cryptogamique ou bactérien ou bien une longue période de stockage sous de mauvaises conditions, telles que le manque d'aération, les températures élevées, l'humidité relative élevée, favorables pour le développement des moisissures et la prolifération des insectes….

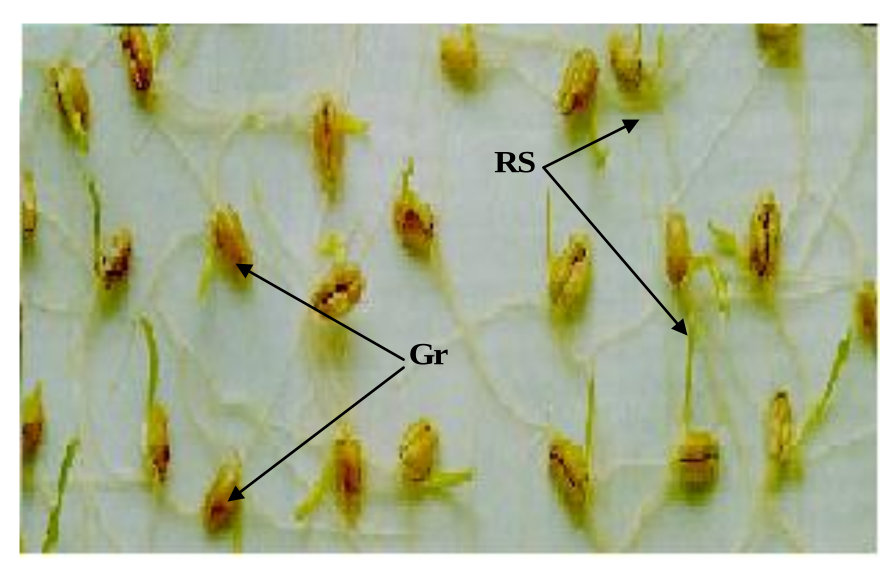


Figure 12. Test de germination d'un échantillon de semences de blé; Gr: Grains; RS: Racines séminales ou primaires.

9.2.7. Energie germinative

L'énergie germinative ou rapidité de germination est traduite par le nombre moyen de plantules développées par jour. Comme elle pourrait être exprimée par le nombre de grains germés pendant la moitié ou bien le tiers de la durée de germination normale. Une énergie germinative élevée prouve que la semence est de bonne qualité dotée d'une faculté germinative élevée et capable de donner un nombre élevé de plants vigoureux et indemnes de toutes infections par jour.

A titre d'exemple: Deux échantillons de blé tendre de 100 grains chacun ont été mis en germination. Suite aux comptages journaliers des grains germés, les résultats obtenus sont les suivants (Tableau 14).

Tableau 14. Ventilation des grains germés en fonction du temps.

Nombre de jours (j)	**3**	**5**	**6**	**8**	**total**
Echantillon $_1$ (nb. de grains germés)	21	50	15	12	98
Echantillon $_2$ (nb. de grains germés)	18	32	36	12	98

Calcul de l'énergie germinative:

- **Echantillon $_1$** = 21/3 + 50/5 + 15/6 + 12/8 = 7 + 10 + + 2,5 +1,5 = **21,0 plants/jour**
- **Echantillon $_2$** = 18/3 + 32/5 + 36/6 + 12/8 = 6 + 6,4 + 6 + 1,5 = **19,9 plants/jour**

Bien que les deux échantillons aient la même faculté germinative (98 %), il parait que **l'échantillon$_1$** a une énergie germinative (21 plants/jour) **plus élevée** que **l'échantillon$_2$** (19.9 plants/jour). **L'échantillon$_1$** est mieux pour le semis que **l'échantillon$_2$**.

9.2.8. Etat sanitaire des semences

Le contrôle de l'état sanitaire des semences a une importance capitale pour la réussite d'une culture céréalière. Il permet particulièrement de:

⇒ détecter la présence des maladies cryptogamiques (Charbons; Caries, Fusariose, Oïdium; Septoriose; Rouilles; Rhynchosporiose, Helminthosporiose..) et bactériennes (*Pseudomonas syringae* et *Xanthomonas campestris*...) (Figure 13) et des parasites transmissibles par les semences tels que les nématodes (*Anguina Tritici*, *Ditylenchus Rpp*) et les charançons. Ce type de contrôle permet de déterminer à l'avance la dose du semis, de traiter, à titre préventif, les semences avant le semis et de prévoir, ultérieurement, les traitements spécifiques de la future culture au plein champ.

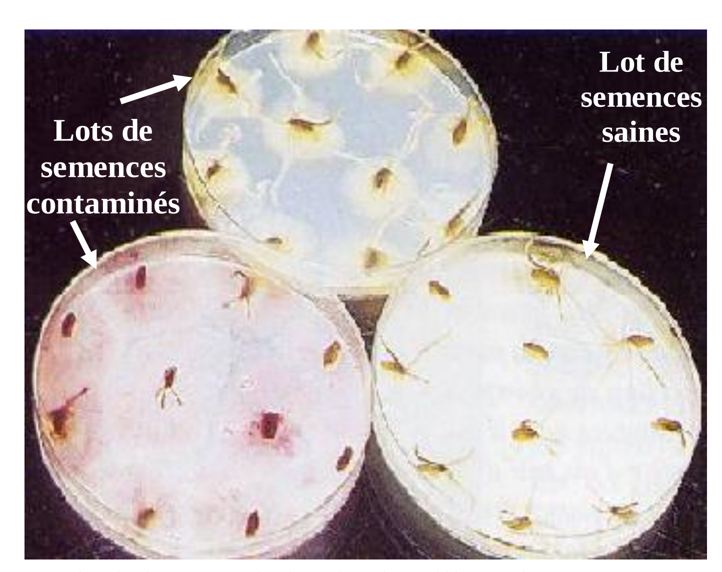


Figure 13. Contrôle de l'état sanitaire d'échantillons de semences céréalières.

⇒ suite aux importations, épargner le pays de l'introduction et de la dissémination des agents pathogènes, en tant qu'espèces et/ou souches virulentes, étrangères néfastes pour la culture et la production des céréales.

9.3. Schéma de production de semences sélectionnées

La production de semences sélectionnées est basée sur la sélection généalogique conservatrice. Le schéma de production des semences de base et des semences certifiées

(Figure 14), s'applique aux espèces céréalières notamment le blé dur (*Triticum durum* desf.), le blé tendre (*Triticum aestivum* L.emend. Fiori et Paol), l'orge (*Hordeum vulgare* L.), l'avoine (*Avena sativa* L.), le triticale (*Triticosecale* Wittm)...

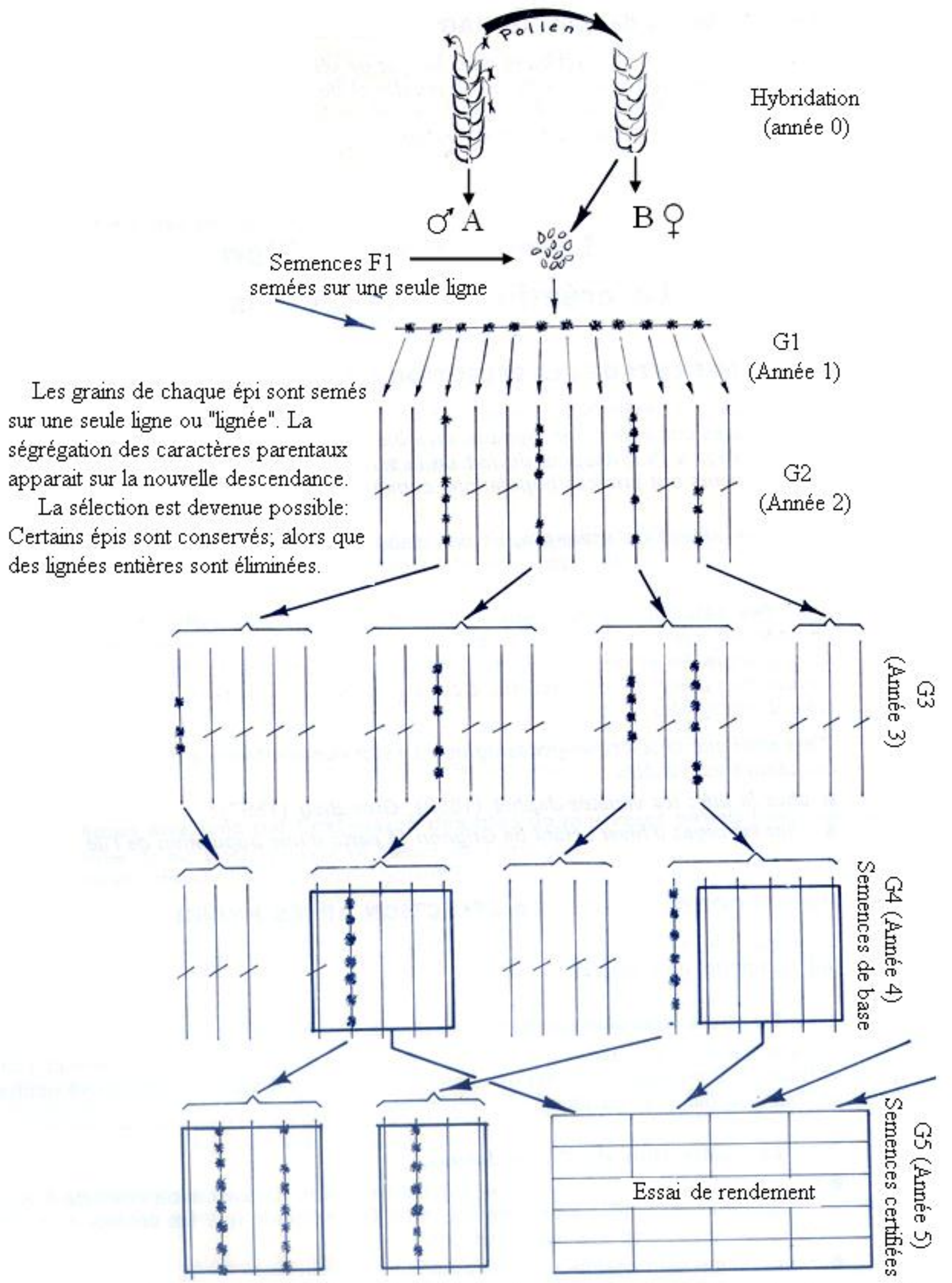


Figure 14. Schéma de création d'une variété (blé, orge, avoine..) par hybridation suivie d'une sélection généalogique conservatrice de semences de base et de semences certifiées.

On pourrait discriminer les semences de pré base et base, les semences certifiées et les semences ordinaires.

9.3.1. Semences de pré base et base

La production de semences de base peut être réalisée en 4 années selon le schéma suivant:

⇒ G0: Les grains, des épis provenant de plantes initiales, sont semés séparément en lignes (épis-lignes). La production obtenue est appelée G1.

⇒ Le produit obtenu à partir du semis de la G1 forme la 2ème génération appelée G2.

⇒ Le produit obtenu à partir du semis de la G2 forme la 3ème génération appelée G3.

⇒ Le produit obtenu à partir du semis de G3 forme la 4ème génération appelée G4 qui constitue **la semence de base** (Figure 15).



Figure 15. Micro parcelles de sélection de semence de base - Essai rendement.

9.3.2. Semences certifiées

⇒ La première génération de semences certifiées ou R1 est le produit du semis des semences de base G4.

⇒ Le produit de la R1 constitue la deuxième génération des semences certifiées R2.

⇒ Le produit de R2 constitue la troisième génération R3 et dit **Semences certifiées** (Tableau 15)**.**

9.3.3. Semences ordinaires

Les semences ordinaires (Tableau 15) sont obtenues suite à une sélection massale à partir de semences certifiées. Elles sont destinées à la production pour la consommation.

Le choix variétal est un compromis entre l'adaptation locale, la qualité, la productivité et la rusticité du génotype.

En agriculture biologique, les semences sélectionnées (Tableau 16) ne doivent pas être traitées avec des produits chimiques de synthèse. La dose du semis doit être majorée de 20 % par rapport à un semis conventionnel.

Tableau 15. Normes des semences certifiées et des semences ordinaires (Anonyme, 2011).

Catégorie	Espèces	Catégorie de Semences	PVM (%)	FGM (%)	PSpM (%)	HM (%)	NbM	
							Total	Autres espèces de céréales
Semences certifiées	Blés Orge Avoine	Pré base et base	999	85	98	15	10	4
		Certifiée R1	997	85	98	15	15	8
		Certifiée R2	990	85	98	15	15	8
		Certifiée R3	980	85	98	15	15	8
	Triticale	Pré base et base	997	85	99	15	10	4
		Certifiée R1	995	85	98	15	15	8
		Certifiée R2	990	95	98	15	15	8
		Certifiée R3	980	85	98	15	15	8
Semences ordinaires	Blés; Orges; Avoines; Triticale	Ordinaires	960	85	97	15	1,5	0,5

PVM: Pureté variétale minimale pour 1000 grains; **FGM**: Faculté germinative minimale pour 100 grains; **PSpM**: Pureté spécifique minimale % du poids; **HM**: Humidité maximale % du poids; **NbM**: Nombre maximum de semences d'autres espèces dans un échantillon de 500 g.

Tableau 16. Normes des semences sélectionnées.

Paramètre	Pourcentage	Seuil maximum
Pureté spécifique	99.7 %	Au moins
Pureté variétale	98.0 %	Au moins
Faculté germinative	85.0 %	Au moins
Etat sanitaire (Nombre de grains malades)	0.5 – 0 %	Au plus
Taux d'humidité	12.0 %	Au plus
Mauvaises herbes (Nombre de graines par kg)	10	Au plus

9.4. Détermination de la quantité de semences (QS)

La quantité de semences (QS) nécessaire pour le semis dépend de l'espèce, de la variété, de la densité du semis et des conditions édapho-climatiques de la région de culture. Elle est calculée comme suit:

$$QS(g/m^2 = \frac{DensitédeSemis(gr/m^2) * \frac{P1000gr}{1000}}{EG * PRS}$$

$$DoseduSemis(g/m^2) = DensitédeSemis(gr/m^2) * \frac{P1000gr}{1000}$$

$$QS(g/m^2) = \frac{DoseduSemis(g/m^2)}{EG * PRS} \Leftrightarrow QS(kg/ha) = 10 * QS(g/m^2)$$

Avec QS: Quantité de Semences; DS: Densité de Semis; P1000g: Poids de 1 000 grains; VA: Valeur Agronomique (Faculté Germinative * Pureté Spécifique); PRS: Pourcentage de Réussite du Semis.

Exemple: DS = 300 Grains/m^2; $P_{10000\ grains}$ = 48 g; PS = 95 %; FG = 97 %; PRS = 95 %;

Dose de semis = (48*300)/100 = **144 kg/ha**

QS = (300*(48/1000))/ (0,95*0,95*0,97) =16,45 g/m^2 = 164, 5 kg/ha soit **165 kg/ha**

QS = (10*14,4)/ (0,95*0,95*0,97) = 144/0,875425 = 164,49 kg/ha ≈ 164,5 kg/ha

Soit **165 kg/ha**

A titre indicatif, dans les régions semi arides, on préconise comme quantités de semences: 80 à 110 kg/ha pour le blé tendre et 90 à 130 kg/ha pour le blé dur.

La densité de semis, ou nombre de grains/m^2, varie selon l'espèce, la variété et la zone bioclimatique. Le poids de 1 000 grains est tributaire de l'espèce. Généralement, il varie de 30 à 40 g pour le blé tendre, de 40 à 50 g pour le blé dur et de 35 à 45 g pour l'orge. La valeur agronomique indique le pourcentage de grains, de bonne qualité, germés dans un échantillon.

Le pourcentage de réussite du semis dépend des conditions climatiques à savoir la température et la pluviométrie, et édaphiques, notamment, le type du sol, le niveau de fertilisation de fond, la préparation du lit de semis et la profondeur du semis.

Si le sol est gorgé d'eau, dans le cas d'une nappe phréatique très proche ou bien suite à une stagnation d'eau pluviale, les grains pourrissent. Par contre, suite à une période de sècheresse et la teneur en eau dans le sol est très faible, les grains ne germent pas ou bien donnent naissance à des plants chétifs et rabougris et incapables d'achever le cycle cultural de l'espèce cultivée.

Le semis réalisé dans un sol mal préparé, non nivelé ni plombé, avec de grosses mottes, influence négativement la germination et la levée. Pour la réussite d'un semis, il

serait utile de bien préparer le sol, de respecter la profondeur du semis et de semer dans un sol bien aéré, humide et friable.

9.5. Choix variétal

Le choix variétal est défini en fonction de:

⇒ son degré d'adaptation aux conditions édapho-climatiques de la région;

⇒ sa précocité qui traduit sa capacité échappement des stress biotiques et abiotiques;

⇒ la hauteur de la paille: Les céréales à paille haute, sensibles à la verse, sont à éviter dans les régions venteuses et les régions humides. Elles favorisent la création d'un microclimat convenable au développement des maladies;

⇒ la facilité d'écoulement du produit récolté qui est assujetti au choix du consommateur. Ce dernier détermine la couleur, le calibre des grains, la qualité boulangère et la richesse en nutriments;

⇒ la densité du semis qui est déterminée par la vigueur du génotype et l'objectif recherché par l'agriculteur;

⇒ l'effet du type de conduite culturale, en intensif ou en extensif, sur les qualités organoleptiques du produit récolté;

⇒ la plasticité du génotype: un génotype est dit plastique, s'il répond positivement par un rendement potentiel élevé sous des conditions favorables traduites par l'absence de stress biotiques et abiotiques, une conduite en culture intensive avec une fertilisation minérale et organique équilibrée, des traitements phytosanitaires et des raccourcisseurs de la paille... En revanche, il répond négativement sous des conditions défavorables, notamment, le cas d'une culture extensive soumise à une fertilisation minérale et organique déficiente, des stress biotiques et abiotiques...

En d'autres termes, lors du choix variétal, l'agriculteur s'affronte à deux types de contraintes qui s'interfèrent:

⇒ d'une part, la zone bioclimatique (humide, subhumide, semi aride ou aride) conjuguée aux conditions édaphiques (structure et texture du sol);

⇒ d'autre part, les caractéristiques agronomiques, les exigences en alimentation hydrique et minérale et le niveau de sensibilité ou de résistance du génotype aux stress biotiques;

D'une façon générale, dans le cas d'une culture intensive, conduite en irrigué ou dans une zone humide, le choix des variétés résistantes ou tolérantes aux stress biotiques, à

haut rendement, est justifié. Dans les zones semi arides ou arides, où la culture est menacée par les sècheresses intermittente et/ou terminale, le choix serait orienté vers les variétés résistantes ou tolérantes aux stress abiotiques, notamment, hydrique et thermique.

En Tunisie, généralement, les cultures céréalières sont soumises à la sècheresse printanière intermittente et terminale. En fait, la sècheresse est déterminante pour le rendement en grains, en quantité et en qualité, particulièrement, dans les zones arides et semi arides. Il serait utile d'adopter des variétés précoces qui terminent leur cycle avant l'avènement de la sècheresse. Dans les zones humides ou en cultures irriguées, les variétés à courtes pailles, ayant un cycle végétatif intermédiaire ou même long, seraient les plus adaptées.

10. Préparation du sol

La préparation du sol est une action déterminante pour la production des céréales. Elle a différents objectifs dont les plus importants sont:

⇒ l'amélioration des propriétés physiques du sol, notamment, la porosité, la structure (un aspect spongieux avec des grumeaux), le réchauffement, la circulation de l'eau et de l'air …

⇒ la rupture de la remontée capillaire et la conservation de la réserve en eau dans le sol;

⇒ la réduction de la masse des semences de mauvaises herbes par leur enfouissement dans le sol ou bien leur exposition aux rayons solaires qui les putréfient,

⇒ faciliter la germination et la destruction des adventices ainsi développées,

⇒ la lutte contre les maladies, les parasites et les ravageurs sous l'action des rayons solaires,

⇒ l'enfouissement de la matière organique (résidus de culture, engrais vert, fumier, adventices…), des engrais minéraux et des amendements,

⇒ la préparation du lit de semis: casser les mottes, niveler et émietter le sol,

Généralement, au niveau des petites exploitations, la préparation du sol est limitée à un labour superficiel effectué à l'aide d'un araire (utilisé actuellement dans certaines zones du globe terrestre notamment en Afrique) qui sillonne le sol sans le faire retourner ou bien à l'aide d'une charrue à versoir avec retournement du sol (Figure 16). Ces deux outils, à traction animale, ont une profondeur d'action très limitée et tributaire du type du sol et de son état d'humectation.

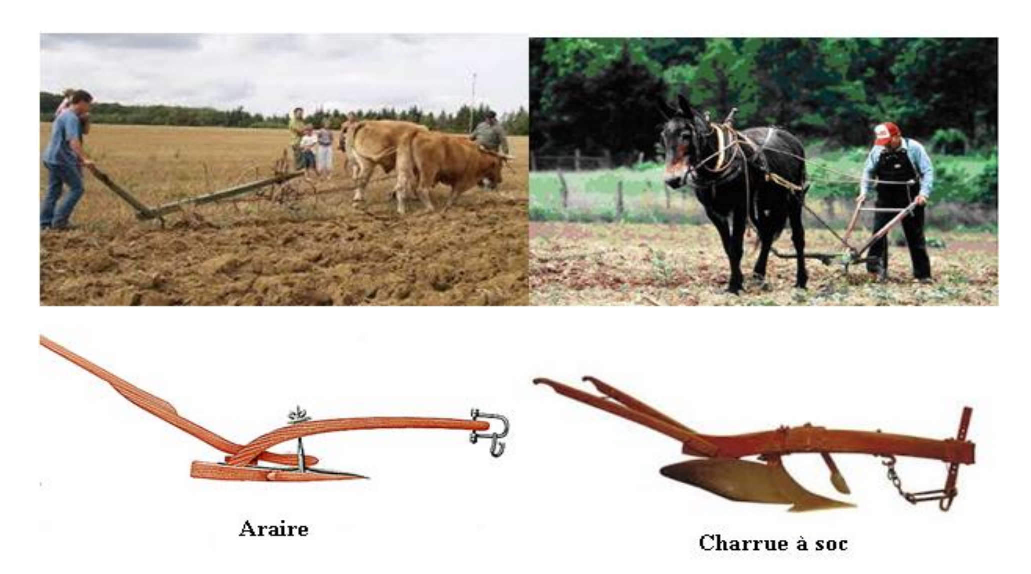


Figure 16. Labour avec l'araire et avec la charrue à soc à tractions animales.

Au niveau des moyennes et grandes exploitations, la préparation du sol est effectuée par la succession de façons culturales, à savoir, un gros labour avec un retournement de la terre, un pseudo-labour ou décompactage sans retournement et des travaux superficiels ou reprise du sol.

10.1. Gros labour

Le gros labour ou labour profond est réalisé, tous les quatre ans, à l'aide d'une charrue à soc ou à disque à traction mécanique (Figure 17). Il permet de faire retourner le sol à une profondeur variant de 30 à 40 cm.



Figure 17. Charrues à socs et charrues à disques à traction mécanique.

La charrue à disque, la plus utilisée par nos agriculteurs, a l'avantage de surmonter les obstacles, tels que les roches et les grosses racines. Seulement, elle a certains inconvénients:

⇒ la pulvérisation des sols légers et la destruction de la structure;

⇒ le colmatage des sols limoneux et la création d'une couche de battance superficielle qui entrave l'infiltration des eaux pluviales et facilite le ruissellement qui emporte les sols fertiles.

⇒ au niveau des sols lourds, humides et peu ressuyés, le passage de la charrue à disque délaisse un sol motteux et creux et crée, en profondeur, une couche de battance ou semelle de labour;

⇒ elle découpe les tiges et les rhizomes de certaines espèces pérennes de mauvaises herbes telles que le liseron et le chiendent et facilite leur multiplication végétative;

La charrue à soc, moins répandue que la charrue à disque, a le défaut d'être inadaptée aux sols rocheux. Néanmoins, elle assure un meilleur retournement du sol et remédie aux inconvénients de la charrue à disque. Elle extirpe le système radiculaire et les tiges des espèces pérennes de mauvaises herbes et les emporte avec elle à l'extérieur de la parcelle.

10.2. Pseudo-labour ou décompactage

Le pseudo-labour ou décompactage peut, parfois, remplacer le gros labour et permet un travail du sol plus ou moins profond sans le faire retourner. Il est réalisé suite au passage d'un ou plusieurs instruments à dents, à disques ou à lames.

Les instruments à dents les plus utilisés sont: les sous-soleuses, les rippers, les fouilleuses ou multi sous-soleuses, les chisels, les cultivateurs lourds (Figure 18).



Figure 18. Instruments à dents pour pseudo-labour, décompactage et sous solage: Chisel, Ripper et Sous-soleuse.

Ils ne retournent pas le sol et ont une profondeur d'action supérieure ou égale à celle des charrues à disque ou à soc. Par contre, les instruments à disque, tels que les déchaumeuses, les pulvériseurs à disque et les bêches roulantes ont une action superficielle et retournent légèrement la terre.

Le chisel, recommandé aux zones semi arides et arides, a l'avantage d'être le mieux adapté aux sols caillouteux. Du fait qu'il façonne de petits sillons, le sol est moins exposé à l'évaporation et les pertes en eau sont limitées. Son utilisation est favorable à l'infiltration des premières pluies automnales. Néanmoins, il est peu efficace contre les mauvaises herbes.

10.3. Travaux superficiels ou reprise du sol

Les travaux superficiels ont pour but de préparer le lit de semis, d'émietter le sol, de favoriser la germination des semences de mauvaises herbes et de les détruire par la suite (faux semis). Le lit de semis doit être suffisamment affiné et légèrement tassé pour assurer un meilleur contact des semences avec la terre.

Les outils à dents, comme la herse, le cultivateur et le canadien permettent de détruire les mottes et d'émietter la terre (Figure 19). Ils sont bénéfiques sur les sols humides et battants tels que les sols limoneux, argileux ou argilo limoneux.



Figure 19. Instruments de travail superficiel: Canadien, Rotovator, Herse à dents et Herse rotative.

D’autres instruments, tels que les rouleaux, peuvent être utilisés pour écraser les mottes et les réduire en terre fine ou bien pour tasser le sol, favoriser le contact grain- sol, faciliter l’imbibition des grains, la germination et l’émergence des plantules. Seulement, le roulage n’est bénéfique que sur une terre relativement sèche. Toutefois, sur un sol humide, le danger du tassement excessif occasionné par les roues du tracteur et les outils traînés est à craindre.

Quoique les travaux superficiels soient indispensables pour les cultures céréalières, ils sont très onéreux. D’autant plus, les passages répétés du tracteur risquent de compacter les sols lourds et humides.

Pour réduire la charge financière et les dégâts occasionnés sur les propriétés physiques, notamment le tassement du sol, le travail de ce dernier pourrait être limité à deux façons superficielles dont:

⇒ la première pourrait avoir lieu après les précipitations automnales. Elle permet la germination des semences de mauvaises herbes et des grains de la récolte précédent tombés sur le sol et la destruction de la nouvelle végétation.

⇒ la second doit être réalisée juste avant le semis pour détruire les mauvaises herbes nouvellement développées. Dans le cas où cette opération est effectuée, assez longtemps avant le semis, les mauvaises herbes auront l’avantage de se développer plus que l’espèce cultivée et finissent par l’étouffer.

11. Fertilisation

La fertilisation des cultures a pour objectifs de:

⇒ fournir à la plante les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance, à son développement et à sa reproduction en quantité et en qualité élevées.

⇒ éviter l’épuisement du sol par le maintien de sa fertilité, notamment, en matière organique et en sels minéraux;

⇒ nourrir les êtres vivants du sol qui par leurs activités biologiques fourniront les éléments nécessaires aux plantes;

Les apports des éléments fertilisants doivent tenir compte des contraintes techniques, socio-économiques et environnementales. En agriculture biologique, la fertilisation est le maillon clef de la pérennité des exploitations. Elle se raisonne en fonction des exigences des cultures, de leur positionnement dans la rotation, des techniques culturales utilisées et de l’état structural du sol (Durant, 2002).

11.1. Fertilisation en agriculture conventionnelle

En culture conventionnelle, deux types de fertilisation peuvent être administrées, notamment, de fond et d'entretien.

11.1.1. Fertilisation de fond

Elle est composée de la matière organique et des éléments minéraux. Généralement, les agriculteurs font des apports en produits fertilisants sans considérer ni les disponibilités du sol en éléments assimilables par la plante ni les besoins réels de la culture. Or, cette dernière se comporte en fonction de l'interaction de quatre composantes, à savoir: les apports des produits fertilisants en nature et en quantité, le type du sol, l'activité biologique dans le sol et le matériel végétal.

Le sol est un milieu vivant où interagissent une multitude de facteurs biotiques et abiotiques entre autres, la microflore, la microfaune, la température, l'humidité, l'état et le type du sol, la richesse en matière organique et la teneur en calcaire actif et en sels minéraux… La décomposition des matières organiques et minérales est succédée par des chaînes de réactions chimiques et biochimiques qui aboutissent à la fixation ou la libération des éléments nutritifs, l'édification du complexe argilo-humique et autres. Les facteurs climatiques, particulièrement, la température et l'humidité élevées accélèrent la minéralisation de l'humus. Les précipitations, au même titre, que les irrigations abondantes lessivent les éléments fertilisants, surtout au niveau des sols légers. Le développement des végétaux spontanés ou cultivés appauvrit le sol des éléments nutritifs. En tenant compte de ces faits, il serait nécessaire d'analyser, périodiquement, le sol pour évaluer son état de fertilité.

Sur le plan économique, une fertilisation aléatoire représente une perte du profit à gagner. Il est recommandé d'appliquer la loi des «Rendements Moins que Proportionnels» en administrant une Dose de Fertilisation Optimale « D_i » dite «Limite Minimale» qui correspond à un Rendement Economique Optimal «R_i » et inférieur au Rendement Maximum obtenu avec une dose de fertilisation «D_j» (Figure 20). L'efficience d'utilisation de la quantité d'engrais supplémentaire «D_i - D_j » n'est pas économiquement rentable.

D'après Lecat, (2005), des travaux de recherche ont montré que la fertilisation nécessaire pour:

⇒ le développement des plants entiers d'une culture de céréale est composée de 3 U/ql (de végétation) d'azote, 1,2 U/ql de phosphore et 1,8 U/ql de potasse.

⇒ la production des grains de céréale est composée de 3 U/ql d'azote, 0,9 U/ql de phosphore et 0,5 U/ql de potasse

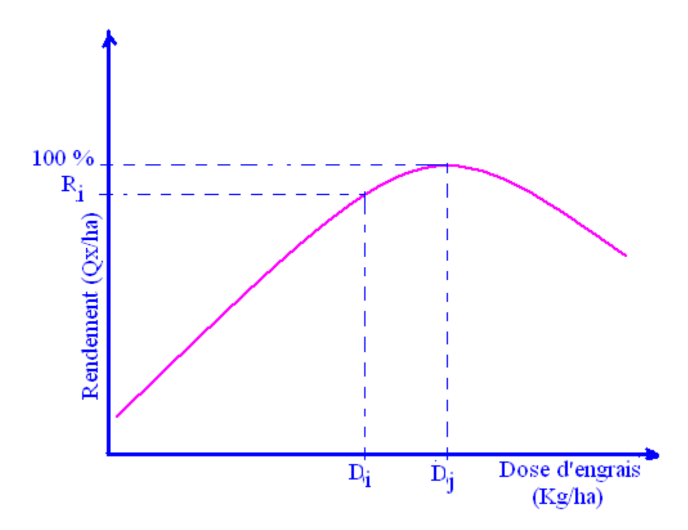


Figure 20. Loi des «Rendements Moins que Proportionnels».

11.1.1.1. Fertilisation organique

Pour une culture conventionnelle de céréales, l'apport de la fumure organique est presque impossible dans notre pays vu l'étendue des superficies cultivées et les disponibilités limitées en cette matière. Le choix de l'agriculteur est ainsi orienté vers son usage pour les cultures horticoles. Néanmoins, au niveau des cultures céréalières conduites avec irrigation d'appoint, il est souhaitable d'administrer 40 t/ha tous les 3 à 4 ans.

L'enfouissement des résidus de cultures à savoir les chaumes et la paille, associé à un apport limité d'ammonitrate 33,5 %, surtout suite à un pâturage et avant les pluies automnales, pourrait améliorer les réserves du sol en matière organique et par conséquent favoriser la formation du complexe argilo-humique.

11.1.1..2. Fertilisation minérale

11.1.1.2.1. Fertilisation potassique

D'une façon générale, les espèces céréalières absorbent facilement l'élément potasse «K». Ce dernier joue un rôle important dans:

⇒ la formation des réserves, surtout les glucides et les protéines, et favorise le remplissage des grains;

⇒ la résistance à la sécheresse, au gel et aux maladies cryptogamiques;

⇒ l'augmentation du taux de matière sèche. Les besoins les plus élevés en « K » sont à partir du stade montaison;

⇒ l'amélioration de la synergie azote / potasse;

Il est à remarquer que dans les sols basiques, l'assimilation du potassium est très limitée même si la concentration de la solution aqueuse en cet élément est très élevée.

Sous les conditions d'une pluviométrie élevée, des apports en potasse sont indispensables pour avoir de hauts rendements en grains. En revanche, en Tunisie, les terres destinées pour la céréaliculture, notamment, celles ayant une texture argileuse, sont réputées riches en potasse. Ceci a fait que la fertilisation potassique des cultures céréalières n'est pas préconisée dans nos contrées.

11.1.1.2.2. Fertilisation phosphatée

Le phosphore est un élément nécessaire à la croissance et au développement des cultures céréalières. Il a comme avantages:

⇒ à la levée, il favorise l'installation et le démarrage actif et accéléré de la culture;

⇒ aux stades tallage et montaison, il active le développement du système racinaire;

⇒ il est un facteur de précocité et de fructification;

⇒ il accroît la résistance au froid et aux maladies;

L'élément phosphate entre dans la composition de la matière organique et des produits biochimiques indispensables pour la croissance de la plante et l'édification du rendement. Dans le sol, le phosphore se trouve, sous deux formes:

⇒ une forme ionique, libre dans la solution du sol et assimilable par la plante;

⇒ une forme moléculaire minérale ou organique plus ou moins assimilable par la plante. Le phosphore peut être piégé entre les feuilles d'argile avec un degré de fixation variable selon la teneur du calcaire dans le sol. En Tunisie, un sérieux problème de nutrition phosphatée s'impose étant donné que la teneur en calcaire est relativement élevée.

En raison de sa faible mobilité dans le sol, il est recommandé d'apporter le phosphate sous forme soluble et localisée pour stimuler le développement racinaire au moment de la germination. Dans les sols basiques, il faudrait l'administrer sous forme acide soluble pour favoriser la dynamique d'échange dans la solution du sol.

Les engrais phosphatés peuvent être sous la forme :

⇒ simple d'anhydride phosphorique (P_2O_5) avec des concentrations variables en élément « P ». Sur le marché on pourrait trouver le Super phosphate 16 % dit

«$Super_{16}$» qui a une forme pulvérisée et le Super phosphate 45 % dit «Super $_{45}$» qui est sous la forme granulée.

⇒ en association avec l'azote sous la forme Mon-ammonium phosphate (MAP: 12 % N et 52 % P_2O_5) qui a un pouvoir acidifiant ou la forme Diammonium phosphate (DAP: 18 % N et 46 % P_2O_5). Au stade semis, l'apport simultané de l'azote sous la forme d'$ammonitrate_{33,5\%}$ et du phosphore sous la forme de Super $_{16}$ ou Super $_{45}$, ou bien sous la forme combinée, MAP ou DAP, exerce une forte synergie.

⇒ composée qui renferme les éléments N, P, K avec différentes concentrations (6, 8, 8), (14, 28, 14)…

Différents travaux de recherches ont montré que sur une culture de blé, le $Super_{16}$ est plus efficace que le $Super_{45}$, le MAP et le DAP. Il a donné les meilleurs rendements en grains. Ces résultats pourront être expliqués par le fait que le $Super_{16}$ contient du soufre qui a un effet bénéfique sur la culture d'une part et que l'état pulvérulent de cet engrais lui permet d'être mieux incorporé dans la solution du sol d'autre part. Ces caractéristiques manquent aux autres engrais vu leurs formes granulées et la faible mobilité de l'élément phosphate dans le sol.

Les apports optimums en élément phosphate dépendent des résultats de l'analyse du sol de sorte que:

⇒ si la concentration du phosphore dans le sol est entre 3 et 6 ppm, l'apport recommandé est de15 unités, soit 100 kg/ha de Super $_{16}$ ou bien 33 kg/ha de Super $_{45}$;

⇒ si cette concentration du phosphore est inférieure à 3 ppm, l'apport devrait être de 60 unités, soit 400 kg/ha de Super $_{16}$ ou bien 133 kg/ha de Super $_{45}$.

11.1.2. Fertilisation d'entretien

Les recherches scientifiques ont montré que l'eau et l'azote sont les principaux facteurs qui déterminent les rendements en grains des céréales. L'azote est l'un des principaux composants de la matière organique. Il joue un rôle déterminant dans le développement végétatif et l'intensification de la production céréalière. En fait, il détermine:

⇒ le nombre de plante par m^2 au stade semis levée;

⇒ le nombre d'épis par m^2 au stade tallage;

⇒ le nombre d'épillets par m^2 et le nombre de grains par épi au stade épiaison floraison;

⇒ le poids de 1 000 grains par épi au stade remplissage des grains;

Chez les céréales, le rendement en grains par m^2 (Y) est une régression:

$$Y_{(g/m2)} = x * y * z.$$

Avec: X: Nombre d'épi/m^2; *y*: Nombre de grains/Epi; *z*: Poids des grains en g.

L'azote se trouve soit sous la forme ammoniacale, transitoire non assimilable soit la forme de nitrate directement assimilable par la plante. Il est très soluble dans l'eau, très mobile dans la solution du sol et facilement lessivable par les eaux pluviales de ruissellement qui percolent à la surface du sol ou en profondeur. Comme il peut se volatiliser dans l'atmosphère. Par conséquent, la fertilisation azotée devrait être échelonnée selon les stades de développement de la culture (Figure 21).



Figure 21. Fertilisation azotée « Ammonitrate 33,5% ».

Les besoins d'une culture céréalière en azote varient de 150 à 175 U/ha, soit de 450 à 525 kg/ha d'ammonitrate $_{33.5\ \%}$ ou ammonitre.

Au stade semis et avant le tallage, les besoins de la culture en azote sont très limités. Généralement, la plante peut prélever ses besoins en cet élément, à partir des résidus de culture ou bien à partir du DAP, déjà utilisé comme fumure de fond. Si on juge que le sol est pauvre en cet élément on effectue, à ce stade, un apport de 15 à 25 U/ha d'azote soit 50 à 75 kg/ha d'ammonitre.

Trois autres apports équivalents, chacun de 50 U/ha d'azote, devraient être effectués dont le premier est au stade début du tallage, le second est stade montaison et le dernier est stade floraison épiaison.

Sous les conditions d'une humidité élevée dans le sol, un apport excessif d'azote pourrait aboutir à un développement intense de la biomasse végétale au détriment du rendement en grains. Il pourrait même avoir un impact négatif suite au développement des agents pathogènes. L'efficience d'utilisation de l'azote serait ainsi très limitée. Alors que sous les conditions d'une sécheresse, vu le manque d'humidité dans le sol, l'azote apporté

serait volatilisé. La culture ne pourrait pas en bénéfique au profit de son rendement en grains et de ses composantes.

En somme, des travaux de recherche menés en Tunisie ont montré que les apports, recommandés, en éléments fertilisants, phosphate et azote, varient selon les régions bioclimatiques et les espèces cultivées (Tableau 17). Toutefois, avant tout apport, il est préconisé de tenir compte de la concentration de la solution du sol en élément phosphate

Tableau 17. Fertilisation minérale recommandée (kg/ha).

Zone agro-climatique	Blé dur, Blé tendre et triticale			Orge		
	Super 45 %	Super 16 %	Ammonitrate 33,5 %	Super 45 %	Super 16 %	Ammonitrate 33,5 %
Sub-humide et Irrigué	150	450	300	100	300	200
Semi-aride supérieur	100	300	200	100	300	100
Semi-aride moyen et inférieur	100	300	100	-	-	-

11.2. Fertilisation en agriculture biologique

En agriculture biologique, l'entretien la fertilité du sol est basé particulièrement sur les résidus des récoltes, le fumier, les déchets biologiques, les engrais verts et les minerais naturels.

11.2.1 -Fertilisation organique

D'après Durant (2002), les matières organiques utilisables en agriculture biologique peuvent être:

⇒ moins de 20 tonnes/ha de fumier bovin, ovin, caprin, équin...provenant d'un élevage biologique ou à la rigueur d'un élevage conventionnel extensifs dont l'alimentation est dépourvue de produit OGM. Les produits très pailleux doivent être incorporés par un déchaumage avant la réalisation du labour profond.

⇒ moins de 10 tonnes/ha de fumier de volaille non issu d'élevage hors sol doivent être incorporées entre 2 façons superficielles avant le semis.

⇒ le compost de déchets vert non OGM ne contenant ni des résidus de produits chimiques ni des métaux lourds

⇒ les boues résiduaires des stations d'épuration dépourvues des résidus de produits chimiques et des métaux lourds sont proscrites en Agriculture Biologique.

11.2.2. Fertilisation minérale

Divers produits sont utilisés pour la fertilisation minérale en agriculture biologique (Tableau 18). Pour la production de la paille, la fertilisation est composée de 60 U/ha de

phosphore, 60 U/ha de potasse et 50 à 80 U/ha d'azote. Alors que pour la production des grains, les apports sont de l'ordre de 70 U/ha de phosphore, 70 U/ha de potasse et 80 à 100 U/ha d'azote (Durant, 2002).

Tableau 18. Produits fertilisants pour l'agriculture biologique (Durant, 2002).

Elément fertilisant	Produit organique	Teneur en élément fertilisant (%)
Phosphore	Poudre d'os	22 à 28
	Scories	6 à 16
	Phosphate naturel	28 à30
	Phospal	30 à 35
Potasse	Poudre de roche	3 à 8
	Cendres de bois	7 à 30
	Vinasse de betteraves et de vin non ammoniacée	28 à 35
	Patenkali	28
Azote	Déchets de poisson	6
	Farine de plumes	10
	Sang granuleux	13,5
	Vinasses de betterave	3 à 6

Pour les sols calcaires, il est recommandé de mélanger les produits organiques à base du phosphate au compost. Le phosphore sera, ainsi, combiné avec l'humus pour former les humophosphates qui sont directement assimilables par la plante. Autrement, si le phosphore est apporté directement au sol, il sera fixé sur le calcium pour former des phosphates tricalciques assimilables à 50 %.

Les crucifères et les légumineuses ont la capacité d'extraire le phosphore non assimilable et de le restituer, au sol, sous forme assimilable. D'où l'intérêt de conduire ces espèce végétales en engrais verts (Durant, 2002).

11.3. Correction de la fertilité du sol

Parfois, les faibles rendements en grains sont dus à une fertilisation minérale insuffisante. L'augmentation du rendement en grains (ΔR^d) est exprimée par la différence entre le rendement visé ou projeté ($R^d v$) et le rendement moyen de la région (R^d):

$$\Delta R^d = R^d v - R^d.$$

Cette augmentation du rendement (ΔR^d) fait intervenir trois composantes à savoir:

⇒ la dose de fertilisation de base en engrais chimiques (P) nécessaire pour avoir le rendement moyen de la région (R^d).

⇒ les prélèvements effectifs supplémentaires en engrais chimiques (R) nécessaires pour atteindre le rendement visé ($R^d v$).

⇒ le coefficient moyen d'utilisation des engrais chimiques (E).

Les engrais chimiques supplémentaires nécessaires pour avoir ΔR^d sont exprimés selon la formule: $\Delta R = (\Delta R^d * P * R)/E$

A titre d'exemple: Si on vise avoir un rendement en grains d'une culture d'orge de 5,5 t/ha au lieu de 4 t/ha; $\Delta R^d = 1,5$ t/ha. Les engrais chimiques supplémentaires ΔR sont respectivement de 33,5 kg/ha de N, 11,81 kg/ha de P_2O_5 et 24,18 kg/ha de K_2SO_4 (Tableau 19).

Tableau 19. Détermination des doses d'engrais supplémentaires ou correction de la fertilité du sol.

Engrais chimiques	**N** (kg/ha)	**P_2O_5** (kg/ha)	**K_2SO_4** (kg/ha)
Dose de fertilisation de base (*P*)	26,8	10,5	21,5
Prélèvements effectifs supplémentaires (*R*)	0,5	0,15	0,30
Coefficient moyen d'utilisation des engrais chimiques (*E*)	0,6	0,2	0,4
Engrais supplémentaires (ΔR) (kg/ha)	(1,5*26,8*0,5)/0,6 = **33,5**	(1,5*10,5*0,15)/0,2 = **11,81**	(1,5*21,5*0,3)/0,4 = **24,18**

12. Semis

12.1. Semis direct

Le semis direct a comme avantages:

⇒ les résidus de culture, délaissés à la surface des sols légers qui manquent de structure, favorisent la formation du complexe argilo-humique, limitent l'évaporation de l'eau, retiennent les eaux pluviales de ruissellement et protègent le sol contre l'érosion;

⇒ amélioration significative de la structure du sol et de l'activité biologique qui sera ressentie à partir de la 3ème année;

⇒ diminution du compactage du sol occasionné par les roues du tracteur suite aux passages répétés;

⇒ réduction du coût de production des céréales et économie de l'énergie fossile;

⇒ exécution du semis, à temps, dans les sols non disponibles pour la reprise;

Seulement, on lui reproche de:

⇒ être limitée aux zones pluvieuses où les interventions mécaniques au moment du semis sont délicates;

⇒ permettre la prolifération des mauvaises herbes concurrentielles pour les cultures céréalières qui peuvent être un hôte primaire ou secondaire des agents pathogènes.

Il serait donc nécessaire de faire recours au désherbage chimique moyennant des produits polyvalents.

⇒ les résidus de culture peuvent renfermer l'inoculum primaire d'une maladie bactérienne ou cryptogamique susceptible de se développer sur la future culture.

En cultures céréalières, il existe deux types de semis direct:

12.1.1. Semis direct sans travail préalable du sol

Il est convenable pour les sols légers nus ou bien qui contiennent des quantités modérées de résidus de culture. Dans le cas des sols lourds, ces derniers doivent être très bien ressuyés, secs et friables pour éviter le compactage sous l'action du poids des roues du tracteur et le lissage de la terre au niveau des disque du semoir. Les engrais minéraux peuvent être administrés à la volée ou bien avec un distributeur d'engrais associé au semoir.

12.1.1. Semis direct avec travail superficiel

Lors du semis, des bandes étroites de terre sont travaillées par des coutres installées sur une barre porte-outil disposée sur le semoir ou bien par un instrument inséré juste avant le semoir.

12.2. Modes de semis

Deux modes de semis sont préconisés: le semis à la volée et le semis mécanisé en ligne.

Autrefois, le semis a été effectué à la volée. De nos jours, ce mode de semis est pratiqué au niveau des petites exploitations. La profondeur du semis et les écartements entre les grains sont très variables. Les conditions de germination, surtout de température et d'humidité, et de levée seront différentes. La distribution des grains sur le sol est aléatoire. La levée est hétérogène dans le temps et dans l'espace avec la formation de zones claires et de zones denses. La réussite de la culture serait ainsi limitée.

Avec l'introduction du semoir mécanique, surtout dans les grandes exploitations, on a enregistré une économie de 20 à 30 % de la quantité de semences. L'emplacement homogène des grains, à des profondeurs et des écartements sur la ligne et entre les lignes uniformes, a largement amélioré la réussite de la levée et le développement de la future culture. La distribution des grains sur la ligne est réglable selon la densité de semis recherchée (Tableau 20).

Tableau 20. Nombre de grains par mètre linéaire en fonction de l'écartement des socs ou des disques et de la densité du semis (grains/m²) (CPVQ, 1988)

Ecartements entre les lignes (mm)	Densité (Grains/m²)												
	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600
	Nombre de grains/mètre linéaire												
102	31	33	36	38	41	43	46	48	51	54	56	59	61
127	38	41	44	47	51	54	57	60	64	66	70	73	76
152	45	49	53	57	61	64	68	72	76	80	84	87	91
178	53	58	62	67	71	76	80	85	89	93	98	102	107

La distance entre les lignes du semis est spécifique au semoir utilisé à socs ou à disques (Figure 22). Il est recommandé d'adopter un écartement de 18 cm pour les semoirs à disques et 30,5 cm pour les semoirs à dents. Avec le passage du semoir, les dents ou les disques ouvrent les sillons. Les grains sont enfuis à des profondeurs réglables. Les sillons sont refermés et le sol est compacté autour des grains pour augmenter le contacte sol–grain.



Figure 22. Semoirs mécanique et pneumatique des céréales avec enfouisseurs des grains à socs et à disques simples et doubles.

12.3. Date de semis

La date du semis des céréales est, généralement, tributaire de:

⇒ l'occupation du sol. Souvent la parcelle destinée pour une nouvelle culture céréalière se trouve occupée par une autre culture qui n'a pas encore achevé son cycle.

⇒ le choix variétal. Les variétés tardives, caractérisées par un cycle long, doivent être semées tôt dans la saison; alors que les variétés précoces, dotées d'un cycle court, peuvent être semées tardivement.

⇒ l'état du sol. Parfois, les pluies assez fréquentes retardent les opérations de préparation du sol, particulièrement, dans les sols lourds à ressuyage lent. Le semis serait ainsi retardé.

⇒ la disponibilité de l'agriculteur. Au niveau de l'exploitation certains travaux paraissent plus urgents que le semis et occasionnent le retard de cette opération.

12.4. Profondeur du semis

La profondeur optimale de semis d'une céréale, l'ordre de 4 cm, assure une levée rapide et homogène, la formation d'un rhizome court et robuste et d'un tallage précoce. Par contre, en cas d'un semis très profond, suite à la germination, les réserves dans les grains s'épuisent avant que les plants deviennent autotrophes. Le rhizome serait assez long et risque d'être sectionné en cas d'un gel survenant avant le tallage La levée serait très retardée et hétérogène et le tallage serait limité (Figure 23).

Généralement, la profondeur du semis varie selon les zones bioclimatiques:

⇒ Dans les zones humides ou subhumides, un semis superficiel, à une profondeur de 2 à 4 cm, pourrait garantir la germination et la levée.

⇒ Dans les zones semi arides, il serait utile d'éviter les semis superficiels. En fait, les précipitations automnales, qui peuvent être suivies par des périodes de sècheresse, déclenchent le processus de la germination et de la levée sans toutefois assurer le développement normal des plantules et la réussite de la culture. La profondeur recommandée serait de l'ordre de 4 à 6 cm.

Au niveau de la même zone bioclimatique, la profondeur du semis dépend du type du sol:

⇒ pour les sols lourds, selon l'humidité dans le sol, la profondeur du semis varie de 3 à 6 cm

⇒ pour les sols légers, on recommande une profondeur de 2 à 4 cm pour assurer une levée rapide avant le dessèchement de la couche superficielle et la formation d'une couche de battance qui entrave l'émergence.

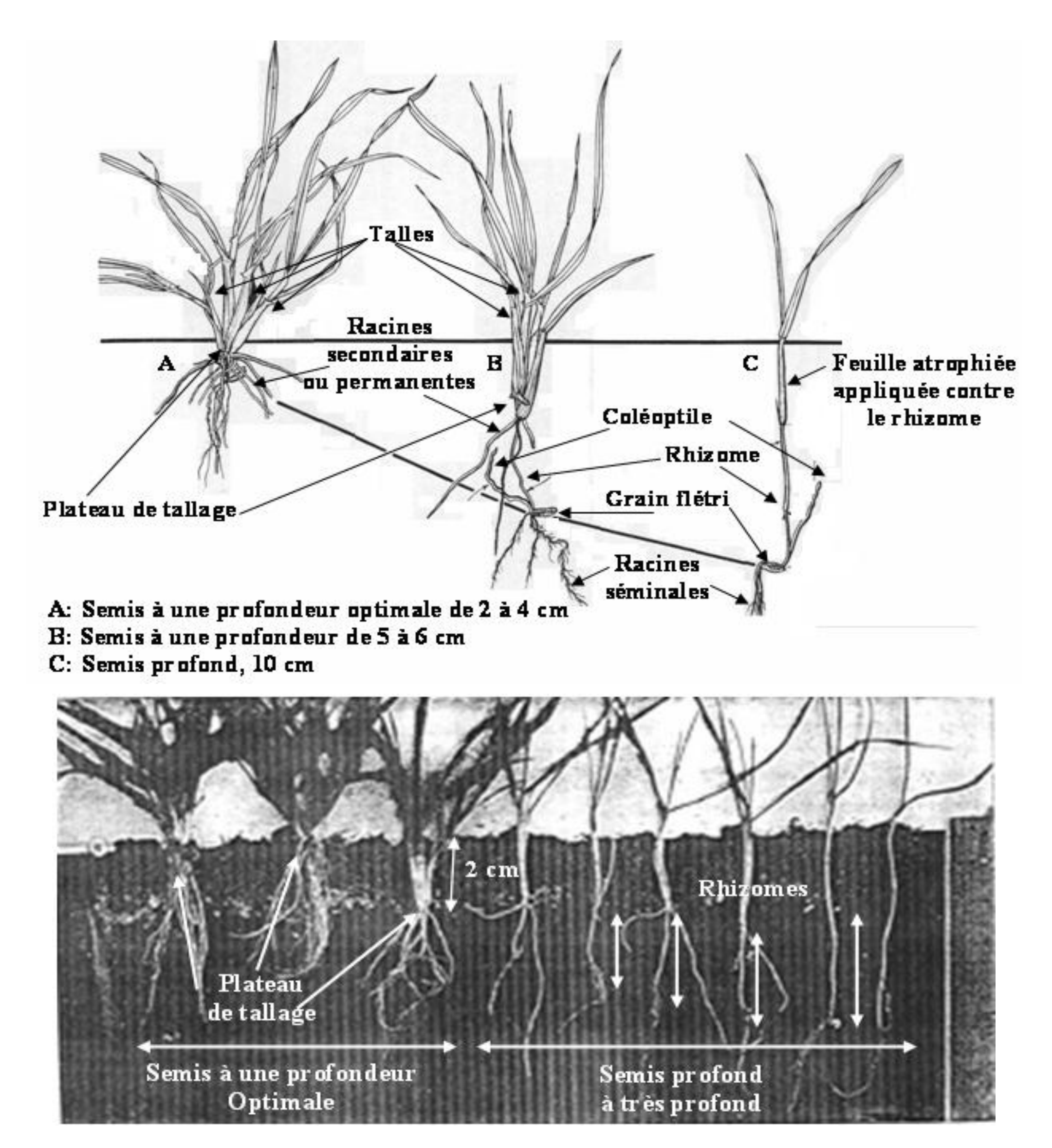


Figure 23. Effets de la profondeur du semis sur le développement et la croissance d'un plant de céréale.

12.5. Dose du semis

La dose du semis dépend de plusieurs facteurs, entre autres de l'objectif du peuplement recherché, en épis par hectare, qui devrait être élevé surtout pour les espèces à petits grains. Elle est proportionnelle au poids de 1 000 grains (Tableau 21) et inversement proportionnelle à l'intensité du tallage de l'espèce et à la faculté germinative des semences.

Tableau 21. Doses de semis des céréales (en kg/ha) en fonction de la densité et du poids de 1000 grains.

Densité de semis (grains/m²)	Poids de 1000 grains (g)							
	38	**40**	**42**	**44**	**46**	**48**	**50**	**52**
	Dose du semis (kg/ha)							
225	86	90	95	99	104	108	113	117
250	95	100	105	110	115	120	125	130
275	105	110	116	121	127	132	138	143
300	114	120	126	132	138	144	150	156
325	124	130	137	143	150	156	163	169
350	133	140	147	154	161	168	175	182
375	143	150	158	165	173	180	188	195
400	152	160	168	176	184	192	200	208
425	162	170	179	187	196	204	213	221
450	171	180	189	198	207	216	225	234
475	181	190	200	209	219	228	238	247
500	190	200	210	220	230	240	250	260

13. Stades phénologiques de développement des céréales

Deux échelles sont utilisées pour la description des stades de croissance des céréales. L'une est décimale, dite de Zadoks (Figure 24) et modifiée par Tottman et Makepeace, et l'autre est dite de Walker. Une série d'étapes phénologiques séparées par des stades repères (Tableau 22) permettent de diviser le cycle annuel de la plante en deux périodes distinctes, à savoir, une période végétative et une période reproductive. Le cycle annuel du blé, traité comme exemple, dure de 183 à 277 jours selon l'espèce blé dur (*Triticum durum* L) ou blé tendre (*Triticum aestivum* L) et la précocité variétale (Soltner, 1982).

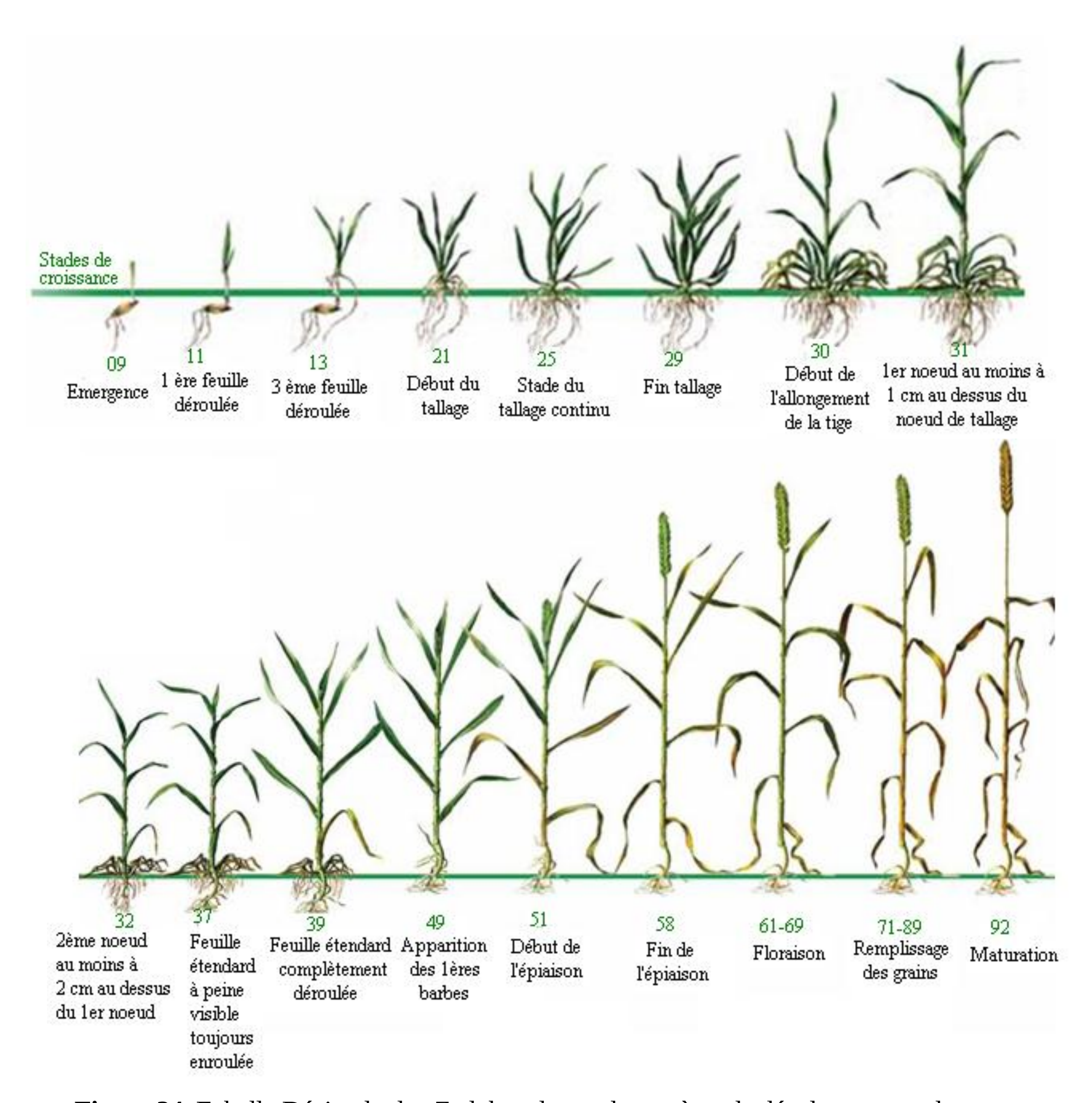


Figure 24. Echelle Décimale de «Zadoks» des stades repères de développement des céréales.

Tableau 22. Stades repères de développement des céréales.

Echelle décimale		Echelle de Walker		Echelle décimale		Echelle de Walker		Echelle décimale		Echelle de Walker	
Code	**Description**	**Code**	**Description**	**Code**	**Description**	**Code**	**Description**	**Code**	**Description**	**Code**	**Description**
Germination				**Elongation de la tige**				**Stade laiteux**			
00	Grain sec			30	Redressement (phase végétative décalée)			70	-	6	Maturité
01	Début de l'imbibition			31				71	Stade aqueux de la maturité du caryopse		
02	-			33	1er - 6ème n nœuds			72	-		
03	Imbibition complète			34	décelables			73	Début laiteux		
04	-			35			Nœuds apparents	74	-		
05	Sortie de la racine	0	Pré émergence	36				75	Mi laiteux	6.1	Grain laiteux
06	-			37	Dernière feuille visible			76	-		
07	Sortie du coléoptile			38	-			77	Fin laiteux		
08	-			39	Ligule ou collerette de la dernière feuille juste visible (stade oreillettes opposées)			78	-		
09	Feuille juste au sommet du coléoptile	1.1	Feuille non encore sortie	**Gonflement**				79	-		
				40	-	4		**Stade pâteux**			
Croissance de la plante				41	Extension de la gaine de la dernière feuille			80	-		
10	1ère feuille traversant	1.2	1 feuille	42	-			81	-		
11	1ère feuille étalée	1.4	3 feuilles	43	Gonflement à peine visible		Développement de la panicule (gonflement)	82	-		
12				44	-			83	Début pâteux	6.4	Grain pâteux
13				45	Gonflement			84	-		
14				46	-			85	Pâteux tendre		
15	2 à 8 feuilles étalées	1.6	5 feuilles	47	Ouverture de la gaine de la dernière feuille			86	-		
16				48	-			87	Pâteux dur		
17		1.8	7 feuilles	49	Premières barbes visibles			88	-		

18			
19	9 feuilles étalées		
Tallage			
20	Maître brin seulement	3.1	Début de tallage
21			
22			
		3.3	Plein tallage
23			
24	Maître brin et 1 - 8 talles		
25			
26		3.6	Fin tallage
27			
28			
29	Maître brin et 9 talles ou plus	3.9	Nombre maximal de talles

Epiaison			
50/51	1er épillet de l'inflorescence à peine visible	5 5.1	Montaison (épiaison)
52/53			
54/55	Respectivement: ¼, ½, ¾ de l'inflorescence dégagée	5.3	Début épiaison Mi épiaison
56/57			
58/59	Inflorescence complètement dégagée	5.9	Epiaison achevée
Anthèse			
60/61	Début de l'anthèse (suit immédiatement l'épiaison)		
62/63	-		
64/65	Mi floraison		
66/67	-		
68/69	Anthèse complète		

89	-		
Maturité			
90	Maturité des épillets terminaux	6.8	Pleine maturité
91	50 % des épillets mûrs		
92	90 % des épillets mûrs		
93	Caryopse se détachant durant la journée		Risque de perte par égrainage
94	Sur maturité, la paille est morte et s'affaisse		
95	Semence dormante		
96	Semence viable dormant, 50 % germination		
		6.9	Sur maturité
97	Semence non dormante		
98	Dormance secondaire induite		
99	Dormance secondaire levée		

13.1. Période végétative

Elle dure de la germination à la formation des ébauches de l'épi. Elle comprend la germination, la levée et le tallage. Pour le cas du blé la période végétative dure, selon les conditions de la culture, de 60 à 110 jours.

13.1.2. Germination

Suite au semis (Figure 25a), au moment de la germination, le coléorhize s'épaissit en une masse blanchâtre et brise les téguments du grain au niveau du germe (Figure 25b). Les racines primaires ou séminales, garnies de poils absorbants (Figures 25c et 25d), apparaissent l'une après l'autre à partir du coléorhize.

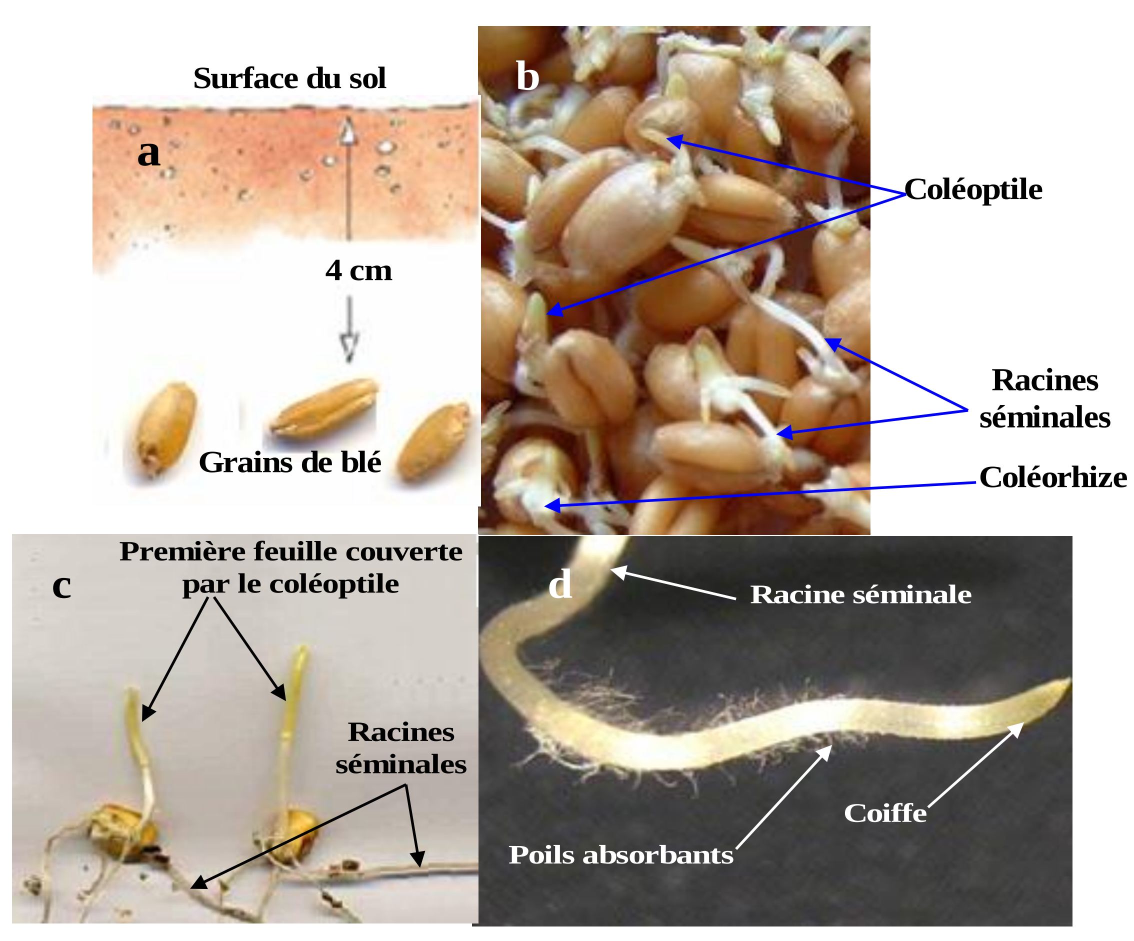


Figure 25. Semis - Germination du blé.

. A l'opposé, le coléoptile qui couvre la première feuille s'allonge vers la surface du sol (Figure 26a). Après son émergence, il se laisse percer par la première feuille (Figure 26b).

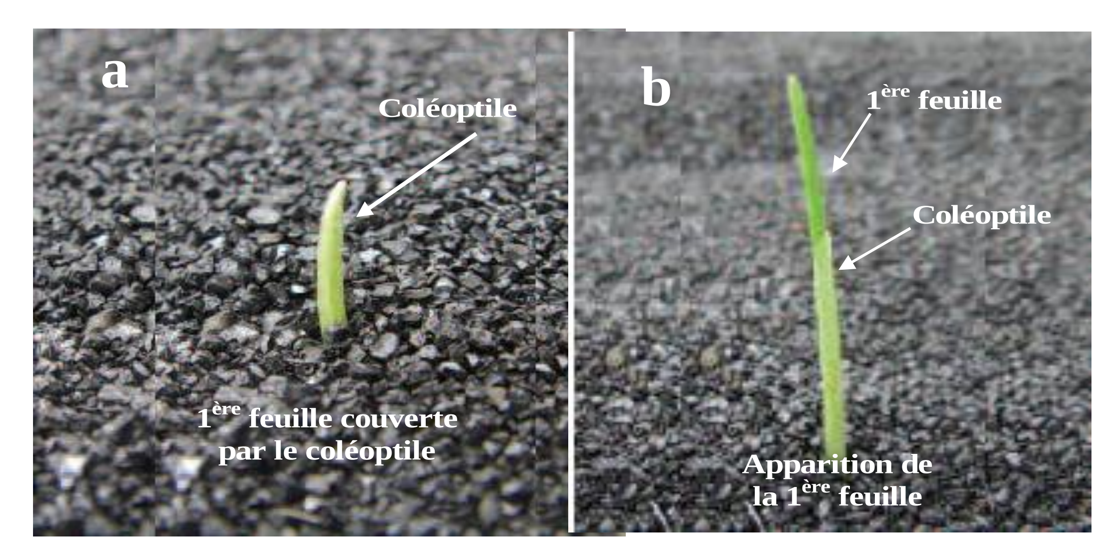


Figure 26. Stade levée du blé.

La germination ne pourra avoir lieu que sous certaines conditions notamment:

⇒ Les semences doivent avoir une bonne faculté germinative. Les céréales peuvent maintenir leur faculté germinative durant 4 à 10 ans, selon les conditions de stockage et l'état sanitaire de la semence et la température et l'humidité dans le sol. En revanche, il est déconseillé de conserver les semences plus de 5 ans. Dans la pratique, il est préférable d'utiliser les semences de la même année de la récolte.

⇒ Les semences doivent avoir atteint leur maturité physiologique qui ne correspond pas forcément à la maturité commerciale. La maturité physiologique est atteinte lorsque le taux d'humidité dans les grains varie de 12 à 14 %, la feuille drapeaux et les épis sont totalement jaunis. Les céréales ont une dormance de très courte durée. Pour le cas du blé, la dormance dure entre 15 et 30 jours. Après la maturité physiologique et avant la récolte, les précipitations estivales accidentelles, font germer certaines variétés de céréales sur l'épi (Figure 27).



Figure 27. Germination du blé sur épi avant la récolte.

⇒ le sol, préalablement, préparé, doit être suffisamment humide avec un taux de 60 à 80 % de sa capacité au champ. Les grains doivent être humectés à une teneur en eau minimale de 35 à 45 % de leur poids.

⇒ les besoins thermiques sont importants et varient selon les variétés de 1800 à 2400 °C/jours. Le zéro végétatif est voisin de 0 °C. La germination peut se produire à une température variant de 4 à 37 °C avec un optimum de 12 à 25 °C. A une faible température, inférieure ou égale à 4 °C, la germination est très lente.

⇒ la taille des grains n'a pas d'effets sur la germination; alors qu'elle affecte la croissance, le développement et le rendement en grains. Les grains de grandes tailles sont plus avantagés que ceux de petites tailles. Ils engendrent une croissance plus rapide des jeunes plants, un nombre de talles fertiles par plant et un rendement en grains plus élevé, surtout sous des conditions de stress abiotiques, notamment, le stress hydrique.

13.1.3. Levée

La levée est la phase délimitée entre la germination et le stade une feuille. Après l'émergence de la 1ère feuille, le coléoptile se fane et se dessèche puisqu'il a terminé son rôle de protection de cette dernière lors de sa sortie à la surface du sol. Les besoins énergétiques et les nutriments nécessaires pour la croissance de la plantule sont fournis par l'endosperme du grain jusqu'à ce que la première feuille devienne photosynthétiquement fonctionnelle.

La levée du blé dure de 15 à 20 jours. Au stade une feuille, une coupe longitudinale de la plantule au niveau du grain montre déjà deux entre nœuds courts et superposés (Figure 28).

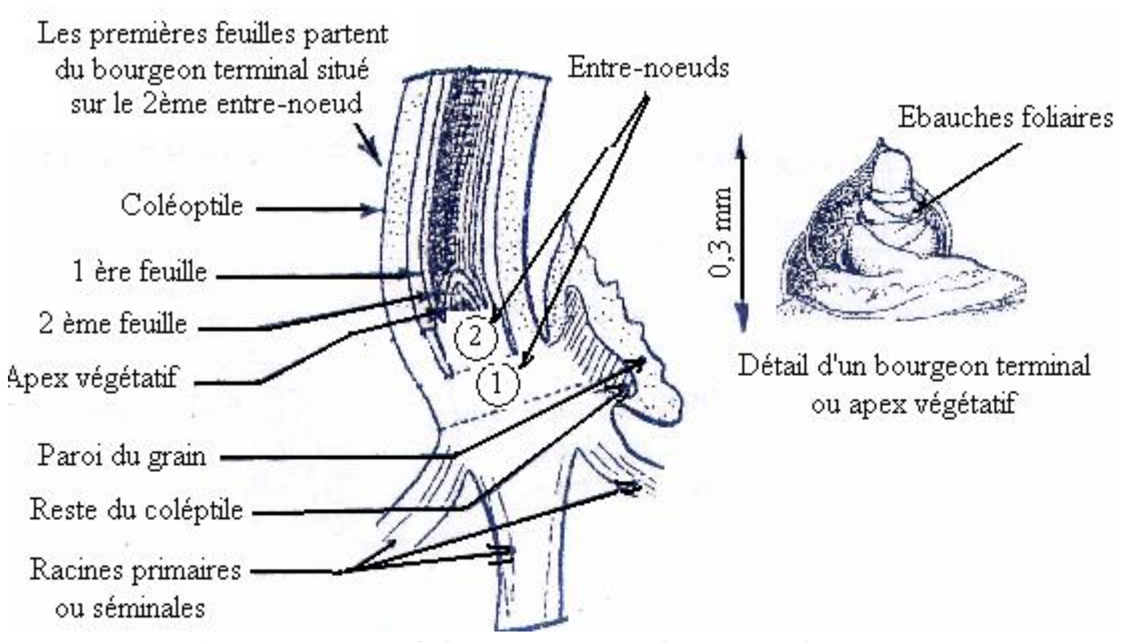


Figure 28. Coupe de la tige au niveau du grain (Soltner, 1982)

Le 1er entre nœud, très court chez le blé et l'orge, est dit mésocotyle. Il est situé au-dessous du point d'attache du coléoptile et porte la première feuille. Alors que le 2ème entre noeud, dit rhizome ou épicotyle, est situé au-dessus du point d'attache du coléoptile. Il est développé chez toutes les espèces céréalières et porte le bourgeon végétatif ou apex. Il est plus ou moins long selon la profondeur du semis.

13.1.4. Tallage

Le tallage est un mode de ramification spécifique aux graminées qui occasionne le développement de rameaux ou talles. Selon un ordre chronologique de leur apparition, les talles peuvent être primaires, secondaires et tertiaires. Le tallage permet à la plante de:

⇒ s'implanter dans le sol par un système radiculaire définitif, profond et très fasciculé qui lui garantit une nutrition minérale et hydrique le long de son cycle.

⇒ combler l'espace vide survenu suite à un semis clair, une levée hétérogène ou bien suite à un stress biotique ou abiotique.

Le tallage se déroule en trois phases:

13.1.4.1. Formation du plateau de tallage

Quelque soit la profondeur du semis, suite à l'émission de la troisième feuille, les racines séminales ont déjà atteint un nombre maximum de **cinq** dont une est principale et deux paires de racines sont latérales. Une sixième racine éventuelle se développe à partir de l'épiblaste qui est l'homologue d'un second cotylédon avorté. Le 2^{éme} entre- nœud, qui porte le bourgeon terminal ou apex végétatif (Figure 28), s'allonge jusqu'à environ 2 cm de la surface du sol. Au dessus du 1er entre noeud apparaît un renflement dit **futur plateau de tallage** (Figure 29). Le plateau de tallage, ayant une hauteur ne dépassant pas 3 ou 4 mm, est constitué de l'empilement de 4 ou 5 entre-nœuds. Il est relié au grain par le rhizome qui porte les racines séminales (Figure 29). Le rhizome reste utile jusqu'à ce que la plante devienne autotrophe. Les premières feuilles apparaissent, successivement, l'une après l'autre à partir du plateau de tallage. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente. Cette phase est dénommée pré-tallage et dure entre 15 et 30 jours.

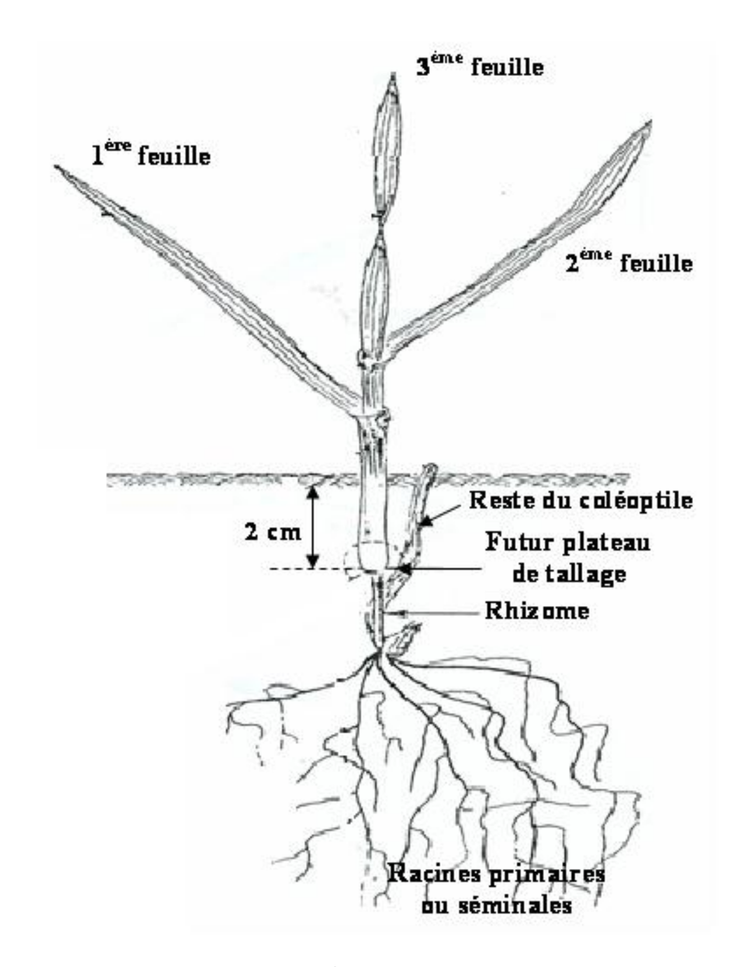


Figure 29. Stade trois feuilles ou début de tallage.

13.1.4.2. Emission des talles

Suite à l'apparition de la 4ème feuille, les bourgeons axillaires des trois premières feuilles entrent en activité pour donner naissance à des pousses dites talles primaires. La 1ère talle primaire, apparaît à l'aisselle de la 1ère feuille. Suite à l'apparition de la 5ème et de la 6ème feuilles, la 2ème et la 3ème talles primaires apparaissent, respectivement, à l'aisselle de la 2ème et de la 3ème feuilles (Figure 30). A ce stade, même si ces talles ne sont pas encore apparues, une coupe longitudinale du plateau de tallage permet de voir qu'elles sont déjà bien formées. Les talles primaires, dites talles-épis, se terminent par des épis bien édifiés. Plus tard, les bourgeons axillaires des talles primaires vont donner naissance à des talles secondaires sur lesquelles des talles tertiaires peuvent se développer. Généralement, les talles secondaires et tertiaires, dites herbacées, sont dépourvues d'épis, ou bien elles engendrent des épis chétifs et dépourvus de grains.

Comme il y a une différence d'âge entre les talles, une culture de céréale apparaît comme étant un mélange de talles dont la croissance est hétérogène. Cette stratification des

talles, basée sur leurs âges, a une importance particulière, étant donné qu'elle influence directement l'absorption de l'azote, l'assimilation chlorophyllienne et la sensibilité aux maladies.

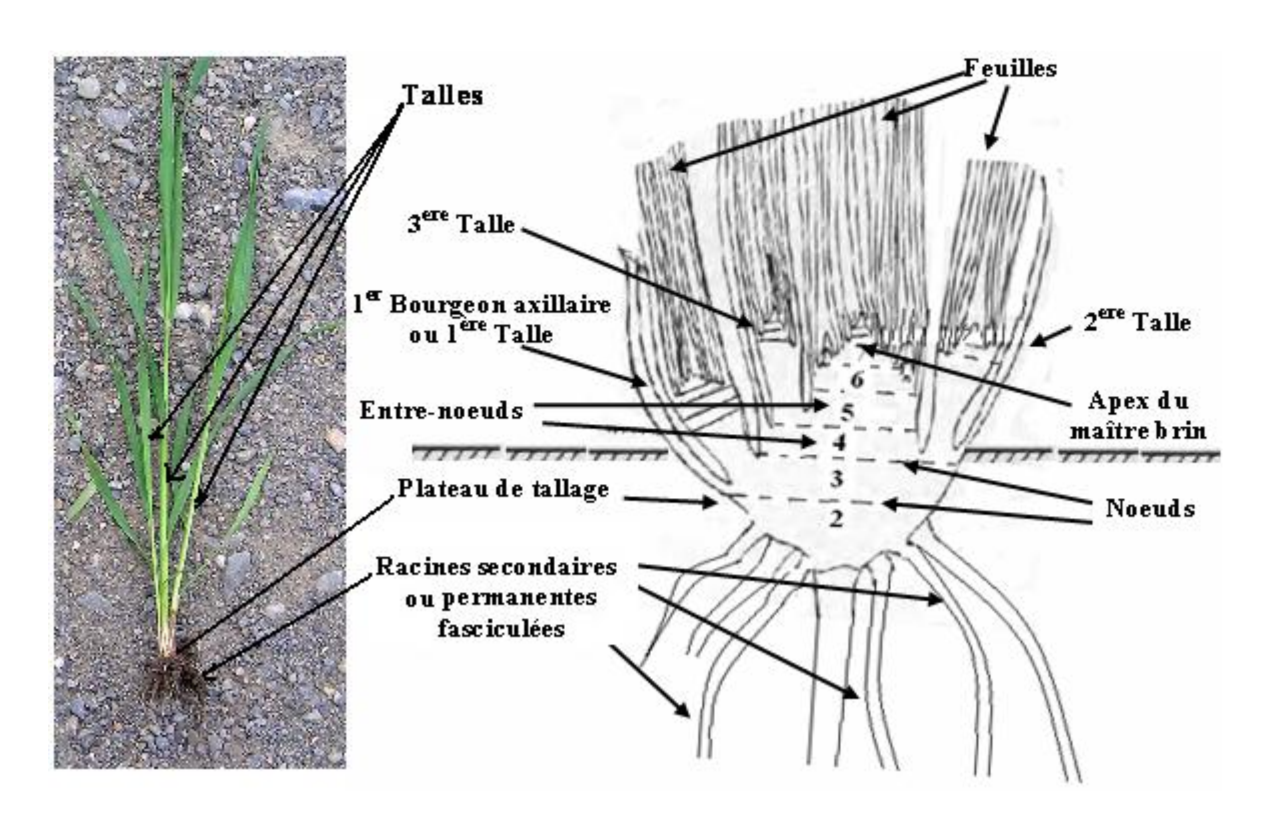


Figure 30. Emission des talles primaires.

13.1.4.3. Sortie de nouvelles racines

Avec le développement de la quatrième feuille et l'apparition de la première talle, de nouvelles racines secondaires ou permanentes, garnies de poils absorbants, sont émises à partir du plateau de tallage (Figure30). Ces racines remplacent progressivement les racines séminales (RS) qui sont reliées à la plante par un rhizome dont la longueur varie selon la profondeur du semis (Figure 23). Elles ont une croissance continue qui se traduit par la formation d'un système radiculaire fasciculé permettant à la plante de s'encrer dans le sol et d'exploiter un volume important de terre (Figure 30).

Au stade floraison, ces racines peuvent atteindre 2 m de profondeur. Les racines séminales, le rhizome ainsi que le grain qui est vidée de ses réserves sont brunis et finissent par se décomposer. Cette phase, dite début de tallage, dure pour le blé entre 30 et 60 jours.

Parfois, chez certaines variétés, on observe à la base du rhizome et au point d'insertion du coléoptile avec le grain, l'apparition d'une talle dite «talle coléoptile ». Suite à la disparition du plateau du tallage occasionnée par un accident climatique tel que le gel

ou autre, la talle coléoptile se développe pour prendre le relais et redémarrer la croissance de la plantule.

13.1.4.4. Conditions d'un tallage intense

L'intensité du tallage varie selon:

⇒ l'espèce: Elle est plus élevée chez l'orge que chez le blé et chez le blé tendre que chez le blé dur;

⇒ les variétés: Certaines variétés tallent beaucoup plus que d'autres. La variété de blé dur Maali talle beaucoup plus que la variété Karim.

⇒ la densité du semis: Un semis dense limite le tallage; alors qu'un semis clair le favorise.

⇒ la nutrition azotée augmente l'intensité et l'énergie du tallage, particulièrement, au stade herbacé.

⇒ la profondeur du semis: Un semis profond retarde la levée et limite le tallage.

13.2. Période reproductive

La période reproductive, qui désigne la formation et la croissance de l'épi, dure pour le cas du blé de 123 à 167 jours (Soltner, 1982). Elle est traduite par la transformation du bourgeon végétatif en un bourgeon reproducteur. En fait, l'apex végétatif cesse de former des ébauches foliaires. Il s'allonge et se segmente en rides parallèles qui forment les ébauches des futurs épillets (Figure 31). Il va passer par les stades successifs suivants: Initiation florale ou Stade A, Stade B, Phase A-B, Montaison et Gonflement ou Stade C, Epiaison, Fécondation et Maturité des grains.

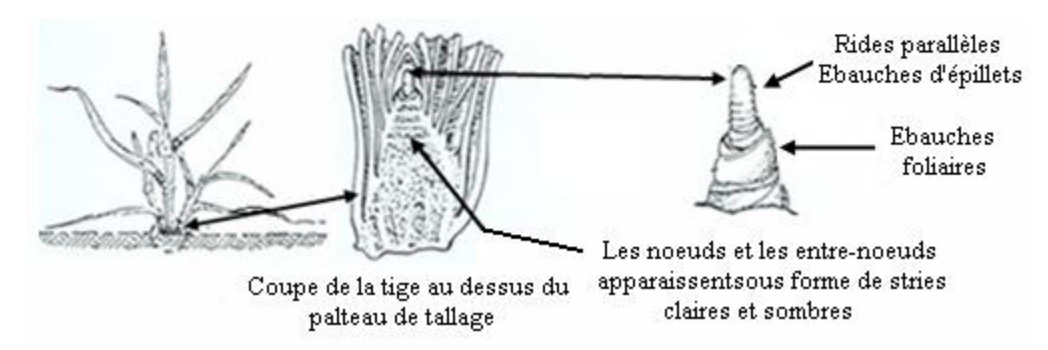


Figure 31. Allongement des entrenoeuds et formation des ébauches des épillets ou **Stade A** (Soltner, 1982).

13.2.1 -Initiation florale ou Stade A

L'initiation florale apparaît avant la fin du tallage. Elle représente une phase de transition dans la vie des céréales qui marque la transformation du bourgeon végétatif en

bourgeon floral. D’apparence, l’initiation florale est marquée par un léger ralentissement de croissance de la plante.

Au stade 4 feuilles, l’observation du bourgeon terminal de la première talle ou **maître brin** montre un apex court dont la base ne différencie que des ébauches foliaires. Plus tard, après l’apparition de la 5ème ou la 6ème feuille, une coupe longitudinale du plateau de tallage fait apparaître au niveau du bourgeon terminal deux indices phénologiques qui marquent l’initiation florale ou le **stade A**:

⇒ une série de stries claires et sombres, nettement visibles à l’œil nu, indiquent le début d’allongement des entre-nœuds (Figure 31). Durant les jours suivants, cet allongement reste très limité.

⇒ le bourgeon terminal cesse de former des ébauches foliaires. Il s’allonge et commence à se segmenter en rides parallèles qui représentent les ébauches du futur épillet. Cette modification n’est visible qu’au microscope ou à l’aide d’une loupe de fort grossissement.

Les ébauches foliaires, déjà formées à la base de l’apex, vont reprendre leur croissance active. Les ébauches des épis continuent à se différencier. Les rides parallèles se transforment en ébauches d’épillets, à la base desquels apparaissent bientôt les ébauches des glumes (Figure 32). La plante va achever rapidement son tallage. Cette période, de tallage actif, correspond à la phase Epi 1 cm de long ou **Stade B** et précède la phase de montaison.

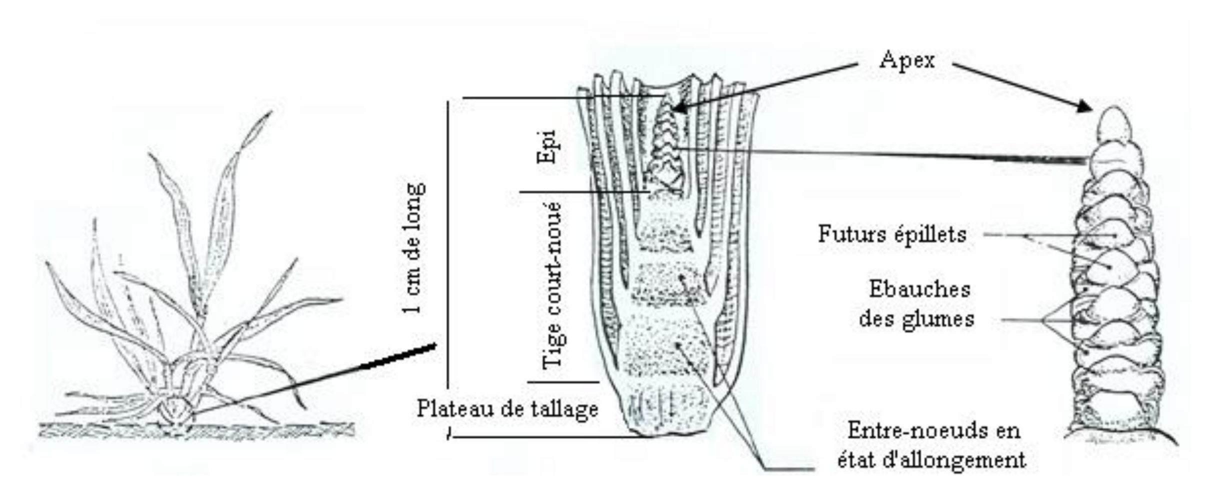


Figure 32. Phase de tallage rapide où l’épi a 1 cm de long ou **Stade B** (Soltner, 1982).

13.2.2. Stade B

Le Stade B marque la fin de la période de tallage et le début de la phase de montaison qui se traduit par un allongement accéléré des talles (Figure 32). Avec le

démarrage de la formation des glumes sur le jeune épi, la croissance des talles est bloquée. A ce stade, une coupe du plateau de tallage montre que:

⇒ les entrenœuds, nettement écartés les uns des autres, commencent à s'allonger activement, traduisant ainsi le début de la montaison.

⇒ les ébauches des glumes apparaissent à la base de chaque épillet sur les jeunes épis.

Ce stade est marqué par un nouveau ralentissement qui précède la croissance active de la montaison.

13.2.3. Phase A-B

La phase A-B correspond au tallage actif ou plein tallage. Pour le cas du blé, elle varie de 30 à 60 jours. La réalisation plus ou moins précoce du stade A, du stade B et de la phase A-B dépend de la date du semis, des besoins thermiques de la variété ou de l'espèce et de la longueur du jour. Pendant cette phase, la fertilisation minérale en azote et en phosphate a une grande importance sur la vigueur de la plante et sur l'intensité du tallage herbacé. En contre partie, une fertilisation azotée excessive provoque l'allongement exagéré des premiers entre-nœuds et prédispose les plantes à la verse.

13.2.4. Montaison - Gonflement ou Stade C

Immédiatement après le stade B, les entre-nœuds des talles-épis s'allongent très rapidement: C'est la phase de montaison. L'épi se forme et continue à se développer sur le dernier nœud de la talle. Il provoque le gonflement de la gaine de la dernière feuille dite feuille drapeau ou étendard (Figure 33).

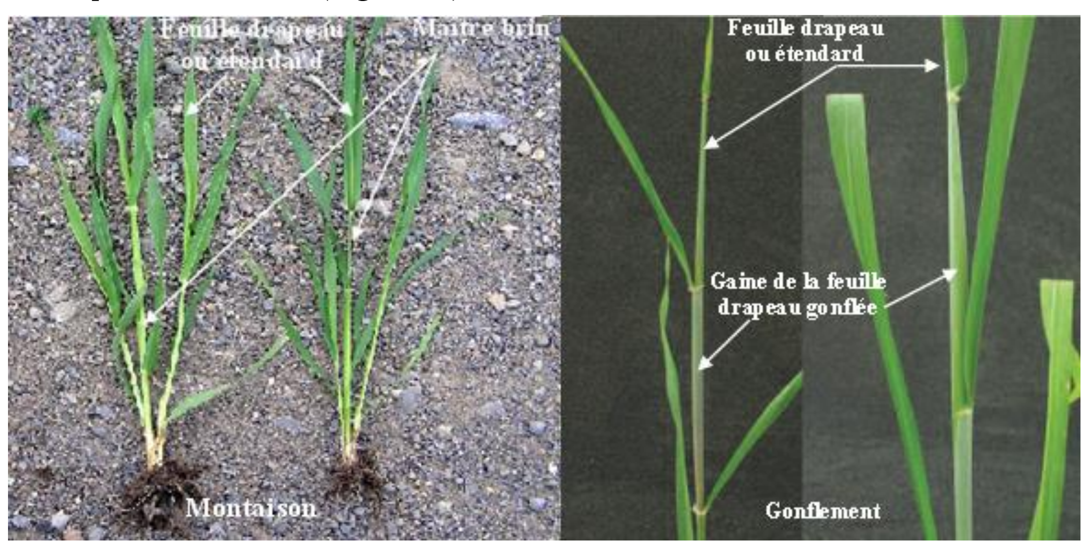


Figure 33. Phase de Montaison ; Gonflement ou **Stade C**

Pour satisfaire leurs besoins hydriques et minéraux, les talles-épis entrent en concurrence avec les talles herbacées. Suite à un stress abiotique, hydrique et/ou

thermique, conjugué à un déficit nutritionnel traduit par une densité de semis élevée, les talles herbacées ne peuvent pas monter en floraison. Leur croissance s'arrête et finissent par se faner et se dessécher. Le tallage-épi, tributaire des conditions hydriques et de la fertilisation minérale, conditionne le rendement en grains. Le nombre de talles-épis est limité au profit de la formation de la matière sèche. Il s'agit de la phase « Montaison-gonflement » ou **stade C** qui dure environ un mois et se termine au moment de la différenciation des stigmates des fleurs (Figure 34) qui ne sont visibles qu'à la loupe. A ce stade, l'épi s'apprête à émerger de la gaine de la feuille drapeau.

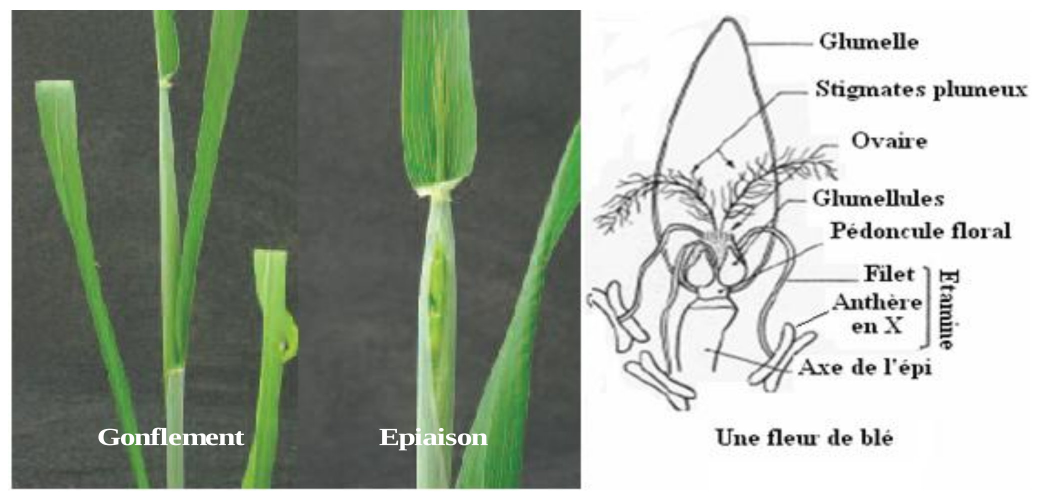


Figure 34. La phase épiaison – fécondation.

13.2.5. Epiaison - Fécondation

Suite à la montaison, l'épi apparaît en sortant de la gaine de la feuille drapeau: C'est le stade **épiaison**. Cette phase est succédée par la formation des organes floraux, la pollinisation et la fécondation interne (Figure 34). La phase «Epiaison –Fécondation » dure pour le cas du blé environ un mois.

Après la fécondation, les filets des étamines s'allongent, faisant apparaître les anthères hors des glumelles: c'est la défloraison ou bien improprement dite « floraison » (Figure 35).

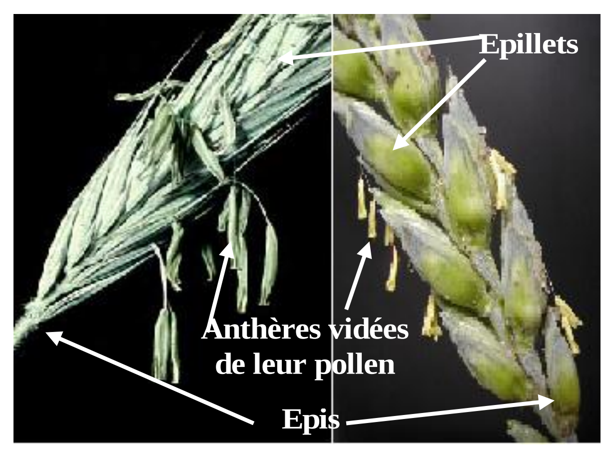


Figure 35. La phase de défloraison ou de «Floraison »

Le nombre de fleurs fécondées dépend, entre autres, de l'alimentation hydrique et azotée et de la plante.

13.2.6. Maturité des grains

La maturité, qui dure chez le blé de 15 à 20 jours, est une phase de développement de l'ovaire. Elle comprend trois phases:

⇒ 1ère **Phase**: C'est une phase d'activité photosynthétique intense qui s'étale de la « **floraison** » au stade « **laiteux** » (Figure 36). Elle est traduite par une multiplication cellulaire et un accroissement du poids d'eau et de la matière sèche dans les grains.

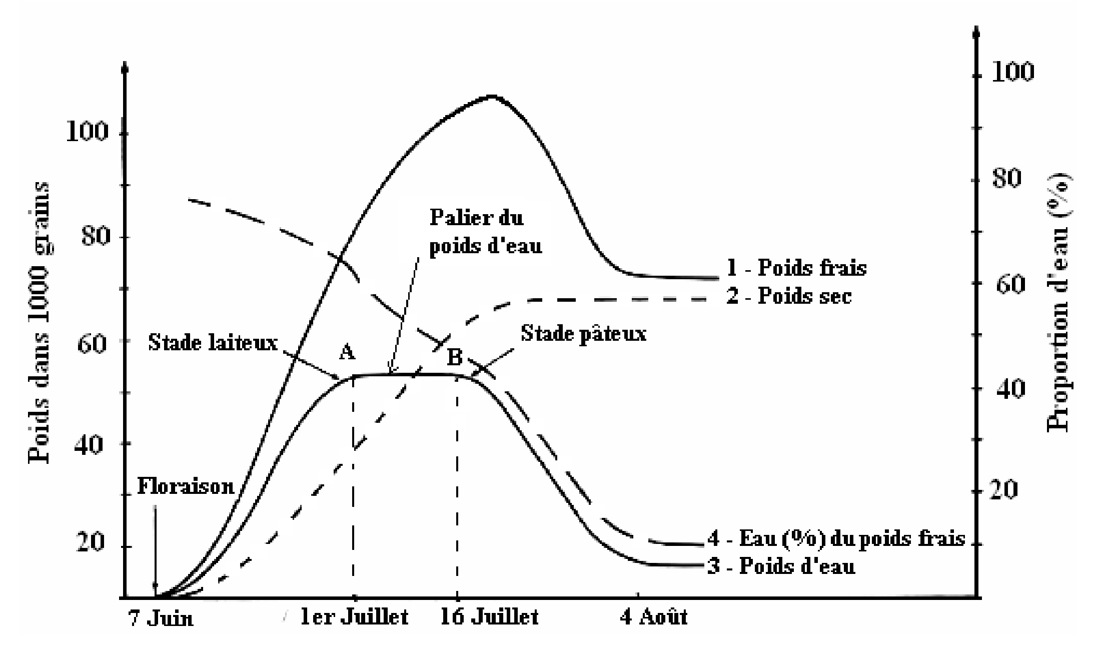


Figure 36 – Courbes caractéristiques du développement des grains de blé (Moule, 1971).

Les tiges et les feuilles ont terminé leur croissance et commencent à jaunir (Figure 37),

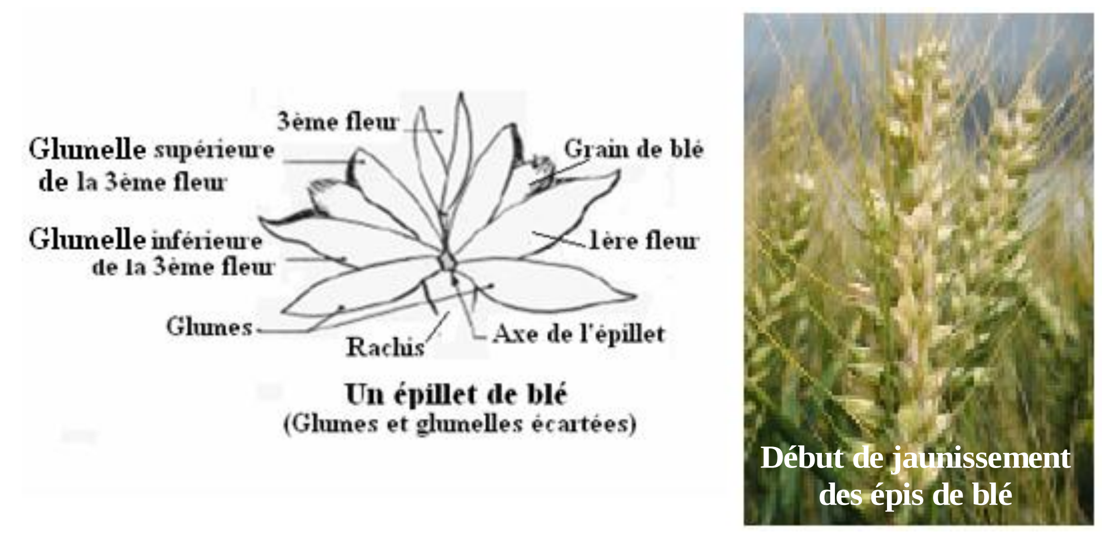


Figure 37 – Stade: Grossissement des grains de blé – Début de maturité.

A la fin de cette phase, un taux de matière sèche de 40 à 50 % est synthétisé et accumulé dans les grains. L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles. Les grains sont encore verts et ont déjà atteint leurs tailles définitives. L'albumen est mou et a un aspect « **laiteux** »: c'est le stade «**grains laiteux**» ou grossissement des grains (Figure 37). Les dix jours qui suivent la fin de ce stade représentent une période critique. En cas d'une évapotranspiration élevée, la plante se dessèche brusquement et la migration des réserves vers les grains serait freinée. Les grains privés des réserves deviennent ridés et légers. C'est le phénomène de « **l'échaudage** ».

⇒ **2ème phase:** C'est une phase d'enrichissement en glucides et en protides au cours de laquelle le poids d'eau dans le grain demeure sensiblement constant. C'est le «P**alier du poids d'eau dans le grain**» ou phase «**A - B**» (Figure 36). Elle dure de 10 à 12 jours chez le blé. A la fin de cette phase, la couleur de l'amande est roux pâle. Les enveloppes des grains résistent bien à la pression du doigt mais se déchirent à l'ongle: c'est le « **Stade pâteux** ». Il marque la fin de la migration des réserves. La teneur en eau varie de 40 à 45 % du poids frais du grain.

⇒ **3ème phase de** «**Dessiccation**» durant laquelle le poids d'eau dans le grain diminue progressivement pour atteindre à la fin un seuil de 12 à 14 % du poids du grain (Figure 36). Le grain passe successivement du stade « **Demi-dur** » ou « **Rayable à l'ongle** » avec environ 20 % d'humidité, au stade « **Dur** » ou « **Cassant sous la dent** » avec environ 15 à 16 % d'humidité puis en fin au stade de « **Surmaturité** » avec 12 à 14 % d'humidité: c'est le stade de la récolte (figure 38).





Figure 38 – Stade «Maturité – Récolte »

14. Reconnaissance des céréales à paille au stade herbacé

An niveau des céréales à pailles, notamment le blé, l'orge, l'avoine, le seigle et le triticale, une seule feuille, composée d'une gaine et d'un limbe, sort de chaque noeud de la tige (Figure 39). Au stade juvénile, la distinction entre ces espèces est basée sur la présence ou l'absence de la ligule, des stipules ou oreillettes et des poils (Tableau 23).

Tableau 23. Clé de reconnaissance des espèces céréalières à pailles (Soltner, 1998)

Organes	Blé	Orge	Avoine	Seigle
Ligule	X	X	X	-
Stipule	X	X	-	-
Poils	X	-	-	-

x: Présent ; -: Absent

La ligule est un prolongement en forme de collet qui s'étend vers le haut à partir de la jonction du limbe et de la gaine. Les stipules ou oreillettes sont des appendices qui enferment ou encerclent la tige (Figure 39).

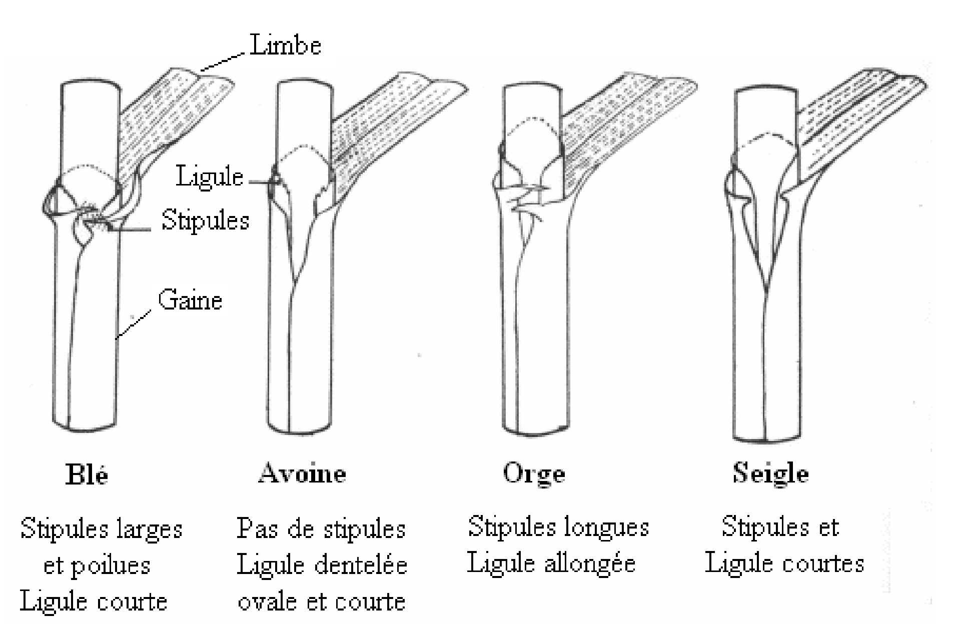


Figure 39 – Point d'insertion du limbe avec la gaine pour le blé, l'avoine, l'orge et le seigle (Soltner, 1998)

D'autres caractéristiques peuvent être utilisées pour la distinction entre les espèces céréalières à paille (Tableau 24).

15. Mauvaises herbes des cultures céréalières

15.1. Impacts des mauvaises herbes sur la culture céréalière

Dans un champ de céréales, les mauvaises herbes ou plantes adventices sont nuisibles à plusieurs niveaux:

⇒ La compétition pour l'eau, les éléments nutritifs et la lumière. Elles engendrent un déficit hydrique et nutritionnel.

⇒ Certaines espèces de mauvaises herbes, étouffantes, tel que le mouron des oiseaux (*Stellaria media*), peuvent occasionner un microclimat favorable pour le développement d'une microflore et/ou microfaune défavorables pour la croissance des céréales. Elles peuvent provoquer des chutes de rendement de 25 à 35 %.

Tableau 24. Caractéristiques des céréales à paille (**ACPS, 2009**).

Espèce	Caractères
Avoine	Oreillettes absentes; gaine et limbe glabres avec quelques poils longs sur les bords de la gaine de la feuille inférieure de certaines variétés; ligule de longueur moyenne; limbes à plus de 12 nervures secondaires, généralement tordues dans le sens anti-horaire.
Blé	Oreillettes poilues et courtes avec un bout pointu; gaine et limbe (plus ou moins poilus) couverts de poils courts et fins; ligule de longueur moyenne; limbes à environ 12 nervures secondaires tordues dans le sens horaire.
Seigle	Oreillettes très glabres et courtes; gaine et limbe couverts de poils courts et fins (plus ou moins poilus); ligule courte; limbes à environ 12 nervures secondaires tordues dans le sens horaire.
Orge	Oreillettes longues, élancées et glabres avec un bout pointu et chevauchement considérable; gaine et limbe généralement glabres; ligule de longueur moyenne; limbes à environ 12 nervures secondaires tordues dans le sens horaire.
Triticale	Oreillettes de longueur moyenne; gaine et limbe couverts de poils courts et fins (plus ou moins poilus); ligule de longueur moyenne; limbes à environ 12 nervures secondaires tordues dans le sens horaire.

⇒ Certaines mauvaises herbes peuvent se comporter comme hôte principal ou secondaire pour une ou plusieurs maladies ou insectes nuisibles pour la culture envisagée.

⇒ Les mauvaises herbes gênent les outils de travail, notamment, la charrue, la herse, la moissonneuse batteuse...

⇒ Les semences de mauvaises herbes récoltées en mélange avec les grains des céréales déprécient la qualité commerciale du produit récolté.

Ces raisons imposent un programme de lutte raisonnée contre les adventices des céréales. Il convient, donc, de

⇒ identifier les principales espèces associées aux cultures céréalières;

⇒ délimiter la répartition géographique de ces espèces;

⇒ évaluer l'importance économique des dégâts engendrés;

⇒ adopter une stratégie de lutte intégrée appropriée à la situation socio-économique de la région.

15.2. Espèces des adventices des céréales recensées en Tunisie

Des études floristiques, menées par la Station de Défense des Cultures du Nord à Béja, dans le cadre du Projet TUNISO-BELGE, dans plusieurs régions du nord du pays ont montré la présence de plus de 250 espèces. L'agressivité de ces dernières est en relation

directe avec leur forte capacité de production de graines et la constitution d'un important stock de semences dans le sol. A titre indicatif, un seul plant de moutarde peut produire entre 1 000 et 5 000 graines. Il en est de même pour la folle avoine (*Avena fatua* et *Avena ludoviciana*), qui pour une infestation de 50 plants/m^2, parvient à produire entre 14 et 40 millions plants par hectare.

Au champ, on assiste généralement au développement d'un grand nombre d'espèces (Tableau 25). Toutefois, certaines parmi ces espèces ont un pouvoir compétitif plus élevé que d'autres et contribuent le plus aux chutes de rendement (Figure 40). C'est ainsi qu'à des densités égales, la folle avoine (*Avena fatua* et *Avena ludoviciana*) est plus compétitive que le ray grass. Egalement, des expérimentations ont montré que 2 plantes/m^2 de gaillet (*Galium aparine*) ou 5 plantes/m^2 de folle avoine (*Avena fatua* et *Avena ludoviciana*) suffisent pour faire chuter le rendement de 5 q/ha. Alors que la densité de la pensée (*Viola tricolor*) devra être de 130 plantes/m^2 pour atteindre le même seuil de nuisibilité.

Tableau 25. Les espèces de mauvaises herbes les plus rencontrées dans les champs de céréales en Tunisie.

Nom commun	Nom latin	Famille
Ray-grass	*Lolium rigidum*	Graminée
Folle avoine	*Avena fatua* et *Avena ludoviciana*	Graminée
Avoine stérile	*Avenus sterilis*	Graminée
Faux fenoil	*Ridolfia segetum*	Ombellifère
Peigne de venus	*Scandix pectenveneris*	Ombellifère
Torilis à glomérules	*Torilis nodosa*	Ombellifère
Moutarde des champs	*Sinapis arvensis*	Crucifère
Rapistre rugueux	*Rapistrum rugosum*	Crucifère
Ravenelle sauvage	*Raphanus raphanistrum*	Crucifère
Souci des champs	*Calendula arvensis*	Composée
Chardon des champs	*Carduus. arvensis*	Composée
Chardon blanc	*Cirsium spinosissimum*	Composée
Laiteron des champs	*Sonchus arvensis*	Composée
Chardon blanc	*Cirsium spinosissimum*	Composée
Coquelicot	*Papaver rhoeas*	Papavéracée
Fumerette des champs	*Fumaria agraria*	Fumariacée
Mélilot	*Melilotus sulcuta*	Légumineuse



Figure 40. Mauvaises herbes recensées dans les champs de céréales en Tunisie.

15.3. Techniques de contrôle des mauvaises

15.3.1. Lutte agronomique

Les techniques culturales adoptées pour lutter contre les mauvaises herbes ont l'avantage d'avoir un moindre coût de réalisation et d'être pratiquées en culture biologique qui ne doit pas être traitée avec des produits chimiques de synthèse. Elles mettent en vigueur les effets bénéfiques de la rotation des cultures, de la nature du précédent cultural, des travaux de préparation et des travaux de reprise du sol et de la qualité des semences céréalières utilisées.

Comme les pratiques culturales sont spécifiques aux espèces cultivées, la diversification des rotations permet de maintenir le stock de semences d'adventices à un niveau acceptable. L'introduction des engrais verts en interculture, des cultures sarclées, telles que les cultures industrielles notamment, le tournesol, le lin, le colza ou autres, et les légumineuses à graines conduites en lignes avec un désherbage mécanique, permet de nettoyer la parcelle. Par contre, ces mêmes espèces semées à la volée ainsi qu'une jachère non travaillée sont salissantes.

Le décalage de la date de semis fait partie des techniques les plus efficaces pour réduire la prolifération des graminées. Cependant, il faudrait opter pour des variétés céréalières adaptées à une date de semis tardive.

Les semences des mauvaises herbes sont suffisamment fines et légères qu'elles pourraient être véhiculées d'une parcelle à une autre par le vent sur de longues distances. Pour limiter cette propagation, certaines alternatives pourraient être recommandées :

⇒ implanter des haies de brise-vent;

⇒ entretenir des bords de la parcelle de céréale par des passages répétés avec des outils à dents ou à disques;

⇒ extraire les plantes pérennes telles que le rumex et le chardon par un pseudo-labour. En cas de persistance de certaines espèces, des passages manuels permettent de nettoyer la parcelle.

⇒ le déchaumage des parcelles récoltées, de la jachère ou de l'interculture permet d'enterrer les chaumes, les repousses de la culture précédente et les adventices annuelles.

⇒ Le retournement du sol par des charrues à soc ou à disque permet d'enfouir, en profondeur, les graines des mauvaises herbes qui demeurent en dormance. La germination et la levée de ces dernières seront fortement réduites. Le fait de remuer le sol permet la

remonté des adventices à la surface et facilite leur germination. Il a été remarqué que le labour, réalisé une année sur trois, occasionne la destruction des graminées enfouies.

⇒ Généralement une grande masse de semences de mauvaises herbes est introduite à la parcelle avec le fumier. Ceci fait que l'amendement en fumier composté limite le stock de semences d'adventices.

⇒ L'utilisation de semences sélectionnées, dépourvues de toutes impuretés, limite suffisamment la propagation des mauvaises herbes.

⇒ La reprise du sol ou faux semis (Figure 41), permet de détruit les plantes germées et levées. Seulement, son efficacité est tributaire de conditions pédoclimatiques suivantes:

- le sol doit être correctement ressuyé;
- les adventices doivent être jeunes pour être entièrement déchaussées. Si elles sont assez développées, leur capacité de repiquage serait plus importante;
- l'intervention mécanique doit être suivie de quelques jours ensoleillés pour faciliter le dessèchement complet des plantes déracinées.



Figure 41. Binage d'une culture céréalière avec des interlignes larges.

Le désherbage mécanique pourrait être réalisé avec trois types d'outils, à savoir, la herse, la houe rotative et la bineuse (Figure 19). La herse et la houe, ayant une action superficielle, doivent opérer sur des sols secs et bien nivelés. La bineuse, généralement plus efficace, ne travaille que sur des interlignes larges, au moins de 25 cm, aux quels les cultures céréalières ne sont pas adaptées. Dans les régions venteuses, les variétés, à paille haute, risquent la verse. Entre autres, avec de grands écartements, les interlignes ne sont pas valorisés par les plantes. L'accès de ces dernières aux ressources minérales, hydriques et

lumineuses reste limité. C’est ainsi que le rendement en grains serait pénalisé. Des pertes de rendement, de l’ordre de 15 %, ont été constatées sur une culture de blé avec des interlignes supérieurs à 35 cm. Pour remédier à ce dernier inconvenant et avoir une densité de semis comparable à celle des écartements normaux, on devrait augmenter la densité de semis sur la ligne. Cependant, la forte concurrence entre les plantes limite le nombre de talles-épis, la fertilité des épis et le remplissage des grains. Néanmoins, l’élaboration du rendement en grains chez le blé est très plastique. De fortes interactions entre les composantes du rendement induisent des phénomènes de compensation qui peuvent être traduits par une augmentation du nombre de grains par épi. Cette caractéristique génétique est tributaire de la variété et des conditions édapho-climatiques lors de la montaison. Les variétés caractérisées par un nombre d’épis/m^2 élevé risquent d’être pénalisées par les interlignes larges; alors que les variétés présentant une forte fertilité d’épi semblent aptes à compenser un moindre tallage.

15.3.2. Lutte chimique

Le désherbage chimique (Figure 42) représente une opération complémentaire des techniques culturales pour la lutte intégrée contre les adventices des céréales.



Figure 42. Désherbage chimique des céréales.

En Tunisie, il a été démontré que le désherbage chimique permet d’augmenter le rendement en grains de 60 à 80%. Dans les régions du Nord, malgré les subventions accordées pour l’achat des désherbants chimiques, le pourcentage d’emblavures céréalières désherbées est de l’ordre de 30%. Quoique cette opération soit coûteuse, son efficacité est indéniable. Cette efficacité est garantie suite au respect des stades de développement des adventices et de la culture céréalière, de la dose d’application et du mode d’action de l’herbicide et des conditions climatiques lors du traitement.

L’époque propice du désherbage chimique des céréales est au moment où les adventices sont facilement identifiables sans pour autant dépasser le stade 1 à 3 feuilles. A partir du stade épi 1 cm de la culture céréalière, la nuisibilité des adventices s’exprime fortement et le rendement en grains serait négativement affecté. Cette alternative a plusieurs avantages notamment:

- la facilité de destruction des adventices vu leur sensibilité accrue aux herbicides;
- l’absence de phénomènes de concurrence vis à vis de la culture;
- le désherbage pourrait être effectué avec des doses réduites.

Vu la sélectivité des herbicides, les adventices sont éliminés; alors que l’espèce cultivée est épargnée. Seulement, cette sélectivité pourrait être franchie et des phénomènes de phytotoxicité peuvent avoir lieu dans le cas:

⇒ d’application de l’herbicide durant des journées de gel et des amplitudes thermiques supérieures à 15 °C;

⇒ d’un manque de concordance de l’époque du désherbage, qui est indiqué sur l’emballage, avec le stade de développement de la céréale. De la levée au stade deux feuilles, la céréale est incapable de détoxifier l’herbicide.

On distingue trois catégories d’herbicides:

- les produits appliqués au sol dits racinaires;
- les produits foliaires pénétrants dits systémiques;
- les produits foliaires de contact et les produits mixtes, foliaires et racinaires, comme les sulfonylurées, ou comme de nombreux antidicotylédones foliaires de contact et systémiques.

Pratiquement, uniquement, deux catégories d’herbicides sont différenciées: les herbicides racinaires et les herbicides foliaires.

Puisque la matière active dissoute dans la solution du sol est absorbée par les adventices, l’efficacité des herbicides racinaires est tributaire de l’état d’humectation du sol. Un sol humide garantit l’absorption racinaire et la bonne circulation du produit dans la plante. Par contre, dans un sol sec, les plantes sont stressées et peu réceptives aux herbicides. Le traitement d’un sol sec sous une faible hygrométrie relative résulte à une forte baisse d’efficacité de l’herbicide.

L’application des herbicides foliaires nécessite une hygrométrie relative élevée, pour deux raisons principales, à savoir:

⇒ une humidité de l’air élevée, supérieur à 50 %, favorise l’hydratation de la cuticule foliaire et facilite, ainsi, la pénétration de l’herbicide.

⇒ durant la pulvérisation, l'hygrométrie relative influence la vitesse de dessiccation des gouttes sur les feuilles. En outre, les gouttes d'herbicide, très fines, disparaissent sous l'action de l'air sec avant d'atteindre les feuilles.

Les antigraminées de la famille des fops (Célio, Puma LS, Vip…), les hormones ainsi que le glyphosate, appartiennent à la catégorie des herbicides foliaires pénétrants. Leur efficacité est conditionnée par une humidité élevée dans le sol et des températures clémentes avec de faibles amplitudes thermiques. Les spécialités commerciales de l'herbicide et les doses des matières actives utilisées varient, conjointement, selon l'espèce de mauvaises herbes et le stade de développement de la culture (Tableau 26).

Tableau 26. Spécialités commerciales, citées à titre indicatif, utilisées pour le désherbage chimique des céréales en Tunisie.

Herbicide	Matière active	Indiqué contre	Stades de croissance de la céréale*	Doses (/ha)
Illoxan CE	Diclofop-methyl	Graminées (folle avoine)	3 F à 2 N	2,5 L
Actril M	Ioxynil + Mecoprop	Dicotylédones	DT à 2 N	1,6 - 2 L
Allié	Metsulfuron methyle	Dicotylédones	DT	6 – 8 g
Dosanex C	Metoxuron	Polyvalent	3 F à DT (B dur) et FT (B tendre)	4 à 5 kg
Dicuran	Chlortoluro	Polyvalent	3 F à DT	5 l
Basagran DP	Bentazone + dichlorprop	Dicotylédones	3 F à FM	3 - 4 L
Suffix 425	L-Flampropisopropyl	Folle avoine	FT - DM à 2 N	3 L
IP flo	Isoproturon	Graminées annuelles	PL	3 - 3,5 L
Zephir	Terbutryne	Graminées annuelles	PS - PL	5 L
Tribunil	Methabenzthiazuron	Dicotylédones annuelles	3 F - FT	2800 g
U 46 DM	2-4 mcpa + 2-4 D	Dicotylédones		2,5 - 3,3 L
U 46 KV Fluide	Mecoprop	Dicotylédones	PT - AG	3,1 - 3,5 L
Prodazol	2-4 D	Dicotylédones	FT à 2 N	1,5 - 2,1 L

* F: feuille; N: Nœud; DT: Début tallage; FT: Fin tallage; FM: Fin montaison; PS: Post semis; PL: Post levée; AG: Avant gpnflement

16 - Dégâts occasionnés sur les cultures céréalières

En Tunisie, les principaux dégâts engendrés sur les cultures céréalières ont plusieurs origines, notamment, physiologiques, cryptogamiques, bactériennes, virales, nématodes, insectes, oiseaux et autres (Tableau 27).

Tableau 27. Principaux dégâts sur les céréales en Tunisie et leurs origines.

Dégâts	Agent causal
Physiologiques	Sectionnement; Verse physiologique et/ou mécanique (radiculaire, caulinaire et nodale); Mitadinage; Echaudage; Coulure
Cryptogamiques	Verse pathologique (Piétin verse, Piétin échaudage et Piétin brun des racines); Fusariose des céréales; Oïdium des céréales; Septorioses; Rouilles (R. brune des feuilles, R. noire des Poacées, R. jaune, R. couronnée); Charbons (C. nu, C. couvert de l'orge); Carie commune du blé; Helminthosporiose (*H. sativum* ou *Cochliobolus sativus*; *H. tritici-repentis*; *H. avena*; *H. teres*; *H. gramineum*; *H. giganteum*; *H. spiciferum)*.
Bactériennes	Taches bactériennes des feuilles; Maladie des taches noires des feuilles et des glumes; Galle bactérienne de l'épi.
Virales	- Maladies virales transmises par les pucerons (Jaunisse nanissante de l'orge; Free State; Streak virus); - Maladies virales transmises par les mites (Mosaïque striée du blé; Mosaïque du chiendent et Mosaïque du ray gras; Spots Mosaïques du blé) - Maladies virales transmises par le sol (Mosaïque du blé; Mosaïque striée du blé; Mosaïque Rayée de l'Orge).
Non infectieuse	Anomalies dues à des instabilités chromosomiques ou des combinaisons génétiques, des stress abiotiques
Nématodes	*Anguina tritici*; *Heterodera avenae*; *Meloïdoyine* spp; *Pratylenchus*.
Insectes	Cécidomyie; Criocères des céréales; Mouche jaune; Hanneton ou ver blanc; Pucerons (*Psamotettix aliénus*; *Rhopalosiphum padi*; *Sitobion avenae*; *Métopolophium dirhodum*); Tordeuse; Charançon.
Oiseaux	Moineaux (M. domestique et M. espagnol).

16.1. Dégâts d'origine physiologique

Certains dégâts sont d'origine physiologique, on site notamment:

16.1.1. Sectionnement

Dans le cas d'un semis profond, supérieur à 8 cm, un long rhizome se développe avant la formation du plateau de tallage. Le gel, survenant à ce stade de croissance, provoque le soulèvement des sols calcaires et occasionne la rupture du rhizome (Figure 23). Les plantules se fanent et dépérissent.

16.1.2. Verse physiologique et/ou mécanique

Chez les céréales, la verse résulte du manque de résistance pour avoir un port dressé. La culture a un aspect couché (Figure 43). C'est la verse physiologique et/ou mécanique



Figure 43. Aspect couché d'une culture céréalière occasionné par la verse.

.On peut distinguer plusieurs modalités de verse physiologique:

16.1.2.1. Verse radiculaire

Lorsque le semis est superficiel, le plateau de tallage est réduit. L'enracinement des jeunes plants est limité et n'est pas assez robuste pour pouvoir les ancrer solidement dans le sol. L'avènement d'un aléa climatique, pluie torrentielle ou vent violent, occasionne le déracinement des plants. Ces derniers sont totalement couchés sous l'action du poids de la biomasse aérienne.

16.1.2.2. Verse caulinaire

Elle est la plus fréquente. Suite à un semis très dense, d'une nutrition minérale insuffisante ou mal équilibrée ou bien d'une forte population de mauvaises herbes, l'insuffisance d'éclairement occasionne l'étiolement des plants. Les tiges sont fragiles et manquent de résistance pour pouvoir supporter le poids de la biomasse aérienne. Il en résulte une flexion au niveau des entre-nœuds à la base de la tige.

16.1.3.3. Verse nodale

Ce phénomène est une caractéristique variétale assez rare. La flexion, occasionnée par le poids de l'épi, se produit au niveau du nœud supérieur de la tige.

La verse physiologique peut entraîner une mauvaise maturité traduite par l'échaudage et des difficultés de la récolte. Une verse précoce peut compromettre gravement le rendement en grains qui pourrait être réduit de 50%. Alors que lors d'une verse tardive, les pertes du rendement peuvent atteindre 5 à 10 Qx/ha. Il est impératif de se prémunir de ce phénomène. Néanmoins, on pourrait remédier à la verse physiologique par:

⇒ le choix de variétés résistantes ou tolérantes qui sont caractérisés par un diamètre important de la base des chaumes, un nombre élevé de faisceaux libéro-ligneux et surtout une faible hauteur de la plante.

⇒ la réduction de la densité de semis et le désherbage chimique ou mécanique épargnent la culture de l'étiolement;

⇒ l'optimisation et le fractionnement de la fertilisation azotée. Un excès d'azote augmente le tallage et la densité du feuillage des génotypes sensibles à la verse. Par contre, pour les génotypes résistants ou tolérants à ce fléau, les doses d'azote élevées améliorent la production en grains sans avoir d'effet sur la hauteur de la paille.

⇒ En cas de risque de verse, des régulateurs chimiques de la croissance peuvent être envisagés. Ces derniers agissent sur le développement des plants et modifient leur morphologie. Le Chlorméquat-Chlorure du Cycocel permet de renforcer la base de la tige et d'ancrer les racines dans le sol. D'autres produits, comme le Chlorure de Chlorocholine (C.C.C.), le Moddus ou le Meddax-Top permettent de limiter l'élongation des entre-noeuds et d'obtenir des plants trapus, résistants à la verse. L'utilisation non justifiée ou bien sous de mauvaises conditions climatiques des régulateurs de croissance peut entraîner des pertes de rendement en raison de leurs effets dépressifs sur la croissance des plants.

16.1.3. Mitadinage

Chez le blé, le mitadinage est occasionné par une carence azotée durant les jours qui suivent la floraison. Il est évalué en pourcentage de grains mitadinés ou l'indice de mitadinage. La synthèse des protéines est inhibée; alors que celle des glucides reste non affectée. Au lieu d'avoir une structure vitreuse, l'albumen a une structure farineuse. Le rendement en semoule et la qualité boulangère des pâtes sont considérablement réduits. La lutte contre le mitadinage est, exclusivement, basée sur les techniques culturales:

⇒ le choix des variétés résistantes au mitadinage qui sont caractérisées par une tendance à accumuler l'azote au cours de la phase du palier hydrique, une aptitude à produire des grains riches en protéines et à élaborer un gluten élastique et tenace.

⇒ une fertilisation minérale azotée et potassique équilibrée qui assure la migration rapide des protéines vers les grains,

16.1.4. Echaudage

L'échaudage survient suite à un stress thermique au cours des phases de la floraison et de la maturité. Il se traduit par un défaut de croissance et une mauvaise maturation du

caryopse. Ce dernier a un aspect plus ou moins flétri et anguleux. Le poids de mille grains et le poids spécifique sont faibles. Le blé dur en est plus sensible que le blé tendre.

Les perturbations enregistrées au cours de l'accumulation de la matière sèche sont fonction du stade de maturité et de l'intensité du stress thermique. La position du « palier du poids d'eau ou palier hydrique» (Figure 36), avant ou après le stress thermique, constitue une phase critique de sensibilité à l'échaudage. La résistance variétale à l'échaudage peut être:

⇒ une résistance apparente ou par échappement. Elle est déterminée par la précocité de la variété et le déroulement du « palier hydrique» avant la période la plus chaude;

⇒ une résistance réelle, d'ordre génétique.

16.1.5. Coulure

Les vents froids, les brouillards et les carences nutritionnelles passagères peuvent réduire la fertilité des épillets de certains génotypes. Les épillets terminaux, ainsi que les deuxièmes et troisièmes fleurs de chaque épillet ne seront pas fécondés. A la maturité ces épillets sont dépourvus de grains.

16.2 - Dégâts d'origine cryptogamique

16.2.1 -Verse pathologique

Elle est occasionnée par des maladies, notamment, le piétin verse, le piétin échaudage et le piétin brun des racines.

16.2.1.1. Piétin-verse

C'est une maladie cryptogamique occasionnée par *Cercosporella herpotrichoides* qui affecte la plupart des céréales. Sur une culture de blé tendre, son seuil de nuisibilité est lorsque 10 à 15 % des pieds sont atteints (Durant, 2002). Elle sévit dans les régions tempérées, fraîches et humides où les cultures céréalières sont prédominantes. Le champignon se développe sur les résidus de végétaux infectés pendant trois ans ou plus. Il attaque les tiges au niveau des premiers entre-nœuds et peut traverser les tissus sous la forme de lésions longitudinales garnies d'un feutre mycélien (Figure 44).

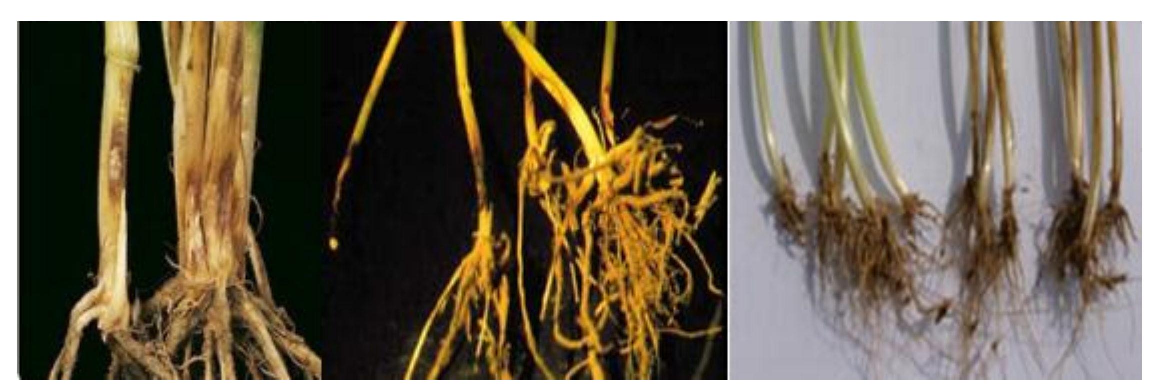


Figure 44. Lésions sur les chaumes et pourritures des racines produites par *Cercosporella herpotrichoïdes* l'agent causal du piétin verse des céréales.

Après l'épiaison, en raison de leur affaiblissement, les tiges contaminées fléchissent et/ou se cassent et versent au niveau des lésions entourant le collet des plants malades. C'est la verse caulinaire. Cette maladie peut être grave lorsque les chaumes restent à la surface du sol. Elle se manifeste aussi par des baisses de rendement, des épis blancs et la mort des talles.

La lutte contre le piétin-verse pourrait être basée sur des techniques culturales. Il faudrait éviter la monoculture et ne faire retourner une céréale sur la même sole qu'après au moins trois ans. L'enfouissement des chaumes dans le sol réduit efficacement la gravité du piétin-verse.

16.2.1.2. Piétin échaudage

Le piétin échaudage est occasionné par le champignon *Ophiobolus graminis* connu par la suite sous le nom *Gaeumannomyces graminis*. C'est une maladie grave et assez fréquente dans certaines régions avec des symptômes très caractéristiques (Figures 45a, 45b). Au début, le champignon attaque le système radiculaire des jeunes plants qu'il nécrose (Figure 45c). Par la suite, il envahit la base des chaumes qui noircissent et pourrissent (Figure 45c). A l'épiaison l'attaque est généralisée. Les épis blanchissent avant la maturité (Figures 45a, 45b). Les plants malades sont couchés et facilement arrachés. Le tallage et l'épiaison sont très réduits. Les grains sont absents ou mal formés. Le rendement est très faible.

Dans le feutrage mycélien *Ophiobolus graminis* forme des périthèces de forme sphériques à oblongues, de couleurs noirâtres et fréquemment pourvues d'un bec (Figure 45d). Sous des conditions climatiques favorables, les périthèces mûrissent et libèrent des ascospores étroites, filiformes, hyalines, cloisonnées et pointues aux extrémités (Figure 45e).

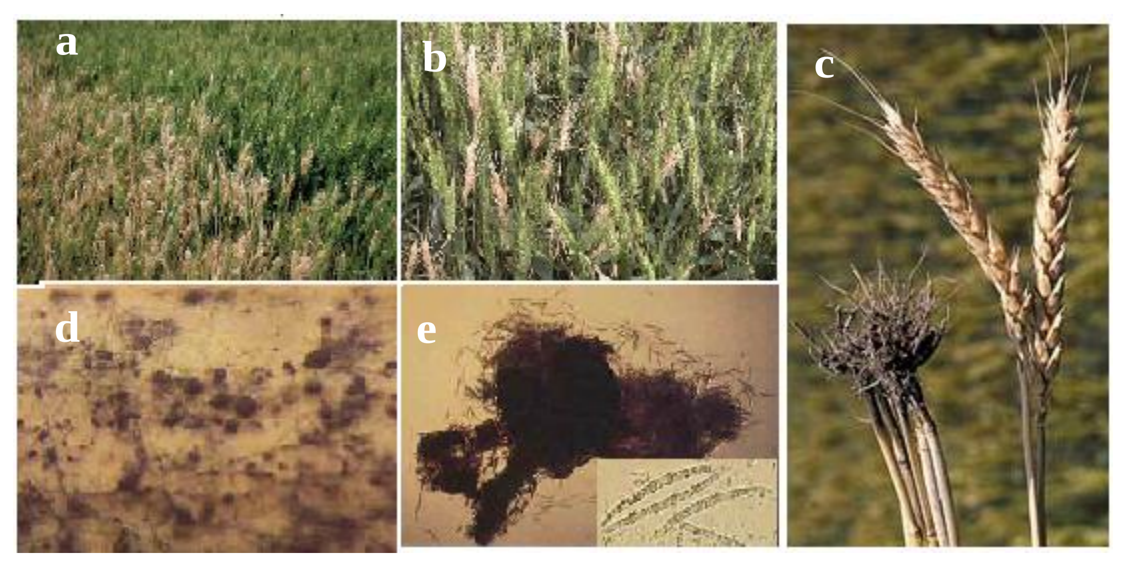


Figure 45. Une culture de blé attaquée par le piétin échaudage (*Ophiobolus graminis*) et fructification du champignon.

L'orge, le triticale, le seigle et surtout le blé tendre sont sensibles à cette maladie; alors que le maïs est une plante hôte résistante. *Ophiobolus graminis* mène une vie saprophytique sur les racines contaminées du maïs. Pour survivre, il cherche un support vivant, tel que les repousses des céréales, le chiendent et d'autres graminées adventices. Le mycélium et les périthèces servent d'inoculum primaire. La quantité d'inoculum dans le sol est influencée par des facteurs édaphiques, telle la présence de micro-organismes antagonistes. Pour limiter les attaques du piétin échaudage, il est recommandé de:

⇒ éviter la monoculture et ne faire retourner une céréale sur la même sole qu'après au moins trois ans;

⇒ éviter les semis denses qui facilitent la propagation de l'inoculum, de proche en proche, à travers les chaumes et le chevelu racinaire enchevêtré;

⇒ effectuer un désherbage mécanique et/ou chimique;

⇒ traiter les semences avec un fongicide spécifique;

⇒ administrer une fertilisation azotée équilibrée ;

⇒ introduire dans l'assolent des cultures sarclées telles que le colza, le tournesol, les légumineuses, le sorgho et la pomme de terre qui peuvent rompre le cycle de la maladie.

16.2.1.3. Piétin brun des racines

C'est une des principales maladies des céréales qui produisent une pourriture humide du système racinaire. L'agent causal est le genre *Pythium spp*. qui comprend plusieurs espèces dont, notamment, *P. arrhenomanes* Drechs., *P. graminicola* Subr. et *P. tardicrescens*. Il survit dans le sol et sur les résidus végétaux. Il est très risqué dans les sols argileux, froids, détrempés et pauvres en phosphore et en matière organique. Il produit des spores (Figure 46) qui, en se déplaçant dans l'eau pelliculaire du sol, envahissent les racines des plantes hôtes. Certaines espèces sont dévastatrices dans les sols chauds, d'autres préfèrent les sols froids.

Un ou deux jours après les semis, le *Pythium* infecte l'embryon et s'attaque au système racinaire. Les pointes des racines deviennent brunies et putréfiées. Les poils absorbants et les radicelles fines, qui jouent un rôle primordial dans l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs sont détruits (Figure 46). Quoique les plants infectés meurent rarement, ils paraissent mal nourris et rabougris avec de petites feuilles de couleur variant du vert pâle au jaune. Les plants gravement atteints brisent au niveau du sol.

Comme stratégie de lutte il serait utile d'éviter les sols marécageux, favoriser le drainage des sols lourds et froids et utiliser des semences sélectionnées traitées.

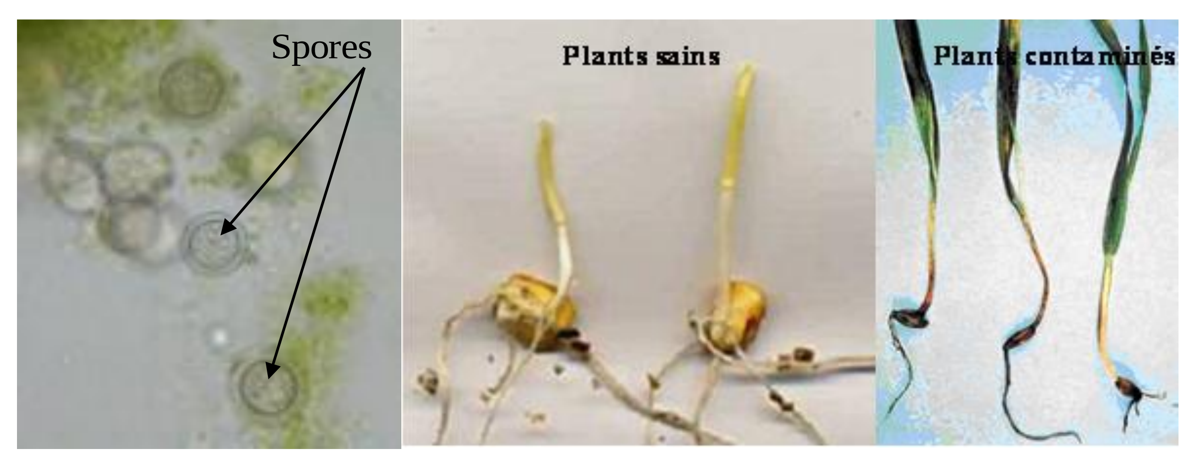


Figure 46. Spores de *Pythium spp*. et plants de céréales sains et d'autres contaminés par le piétin brun des racines.

16.2.2 -Fusariose des céréales

Cette maladie est occasionnée par le genre *Fusarium* spp. qui comprend notamment: *F. graminearum*; *F. roseum*; *F. avenaceum*; *F. culmorum* et *F. nival*. Elle affecte le blé, qui en est très sensible, l'orge, l'avoine et d'autres céréales. Les épis infectés apparaissent partiellement ou totalement blanchâtres avec un aspect desséché (Figure 47).

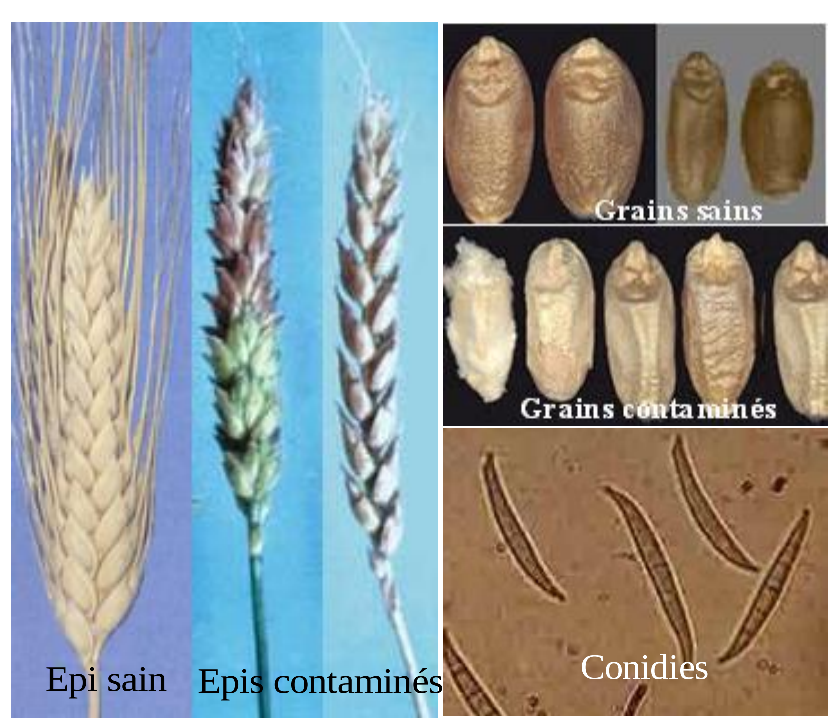


Figure 47. Epis et grains de blé sains et contaminés par *Fusarium graminearum* l'agent causal de la gale de l'épi et conidies du champignon.

Des pustules de couleur rose ou saumon sont formées sur les barbes et à la base des épillets qui subissent un avortement. Les grains sont petits, ridés et non valables pour la

consommation (Figure 47). Le poids de 1 000 grains et le poids spécifique sont faibles. Le rendement en grains est fortement atténué. Le champignon secrète, sur la paille et les grains, des substances toxiques pour les êtres humains et le bétail. Les spores (Figure 47) peuvent être adhérés à la semence, dont la faculté germinative est réduite, ou bien sous une forme de conservation dans le sol. Certaines fusarioses s'attaquent aux germes de la semence et provoquent la pourriture du système radiculaire des plants. D'autres se transmettent aux tiges et aux épis qui finissent par se dessécher. Une hygrométrie relative élevée et des températures clémentes sont favorables à la propagation de cette maladie.

Le traitement des semences et l'application d'un assolement rationnel peuvent être des moyens de lutte contre ces champignons.

16.2.3. Oïdium ou blanc des céréales

L'oïdium ou blanc des céréales, occasionnée par *Erysiphe graminis*, dont la forme imparfaite est *Oïdium monilioïdes*, attaque le blé, l'orge ainsi que d'autres graminées. Le seigle et l'avoine paraissent résistants ou tolérants à cette maladie. *Erysiphe graminis* est un parasite obligatoire qui présente des formes spéciales telles que les formes *Tritici* et *Hordei* qui attaquent respectivement le blé et l'orge. Le triticale semble très résistant à ces deux formes spéciales. D'un autre coté, chaque forme spéciale comporte un certain nombre de souches ou races physiologiques.

Sous des conditions climatiques favorables, notamment, une température variant de 15 à 21 °C et une hygrométrie relative de l'ordre de 100 %, la maladie se propage rapidement de la base vers le haut des plants et envahit les feuilles, les gaines foliaires, les tiges et les épis (Figure 48a). La maladie prive la plante des éléments nutritifs et réduit la capacité photosynthétique des feuilles. Les plants gravement atteints peuvent verser, se dessécher prématurément et présenter un mauvais remplissage des grains ou échaudage. Le poids de 1 000 grains et le poids spécifique sont ainsi atténués. Sur une culture de blé tendre, le seuil de nuisibilité est atteint lorsque 40 % des feuilles supérieures sont envahies par le feutrage mycélien. Selon la gravité de l'infection, les pertes du rendement en grains peuvent varier de 2 à 30 %.

La maladie est caractérisée par la formation d'un feutrage mycélien duveteux, superficiel de couleur blanche à grise sur la face inférieure des feuilles (Figure 48b) et des suçoirs ou haustoria qui sont introduits dans les cellules épidermiques. Le revêtement mycélien est pulvérulent à cause des conidies ovoïdes, hyalines et unicellulaires (Figure 48c) produites sur les conidiophores (Figure 48d). En fin de saison, le feutrage mycélien produit des fructifications sexuées, dites périthèces ou cleistothèces, sphériques de couleur noire avec

des parois minces mais coriaces (Figures 48b, 48e). Ces derniers sont généralement présents sur les plantes infectées, mais ne produisent des ascospores matures que très tard dans la saison ou après l'hiver. Sur les plantes en croissance, ils ne renferment que des asques stériles (Figure 48e) qui ne présentent pas une source importante d'inoculum primaire. Le champignon survit par son mycélium les périthèces sur les résidus de culture et les repousses des céréales. Ces formes de conservation peuvent être véhiculés par le vent et assurer la propagation de la maladie.

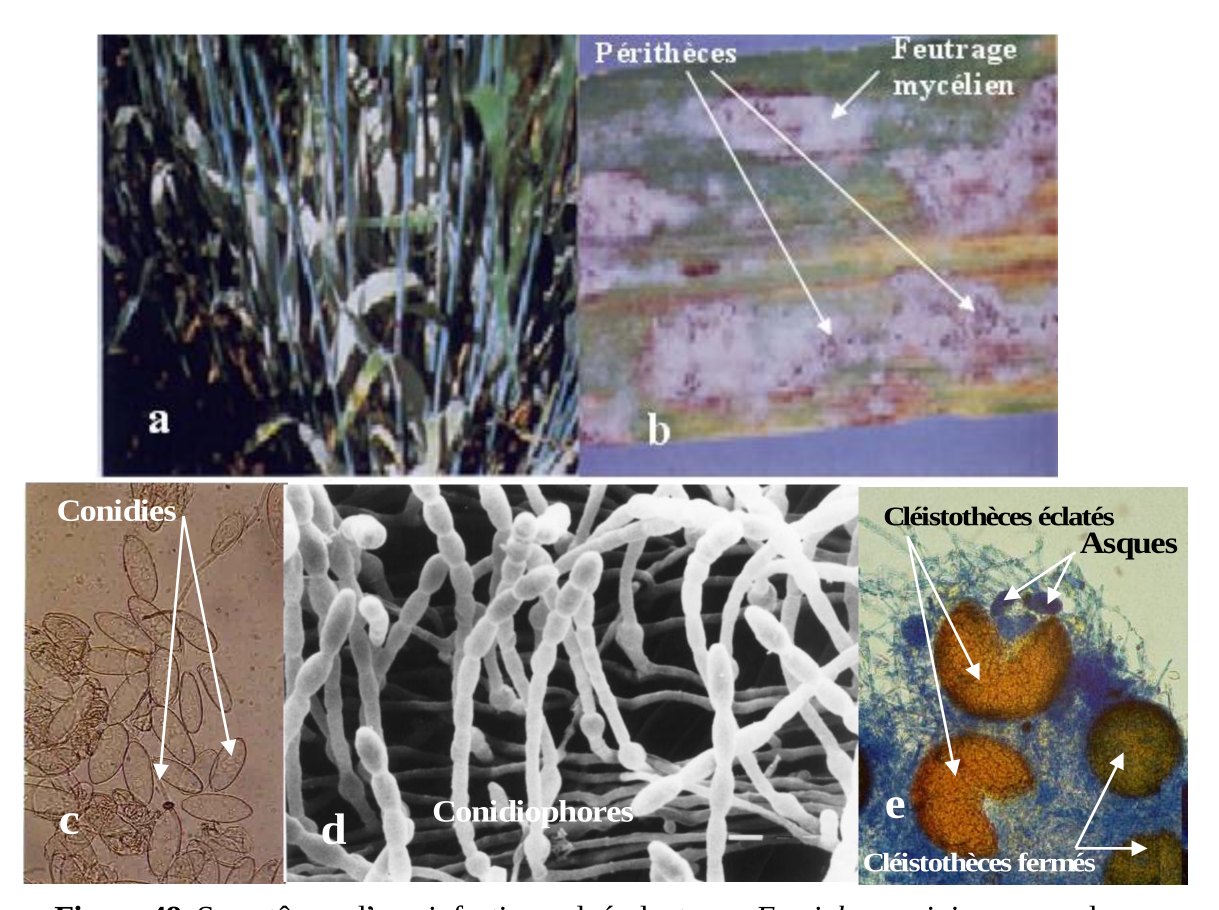


Figure 48. Symptômes d’une infection pulvérulente par *Erysiph graminis* spp. sur des plants de céréales et fructifications du pathogènes.

Un peuplement dense et des plants vigoureux, ayant reçu de fortes doses d'azote, peuvent augmenter la vulnérabilité de la culture et créer des conditions propices au blanc. Comme stratégie de lutte contre cette maladie, on pourrait opter pour:

⇒ les variétés résistantes ou tolérantes;

⇒ l'enfouissement des résidus de culture par le travail du sol;

⇒ la pratique d'une rotation rationnelle des cultures.

⇒ l’application foliaire de fongicides avant d’atteindre le seuil de nuisibilité.

16.2.4. Septorioses

Les taches septoriennes et les taches des glumes, largement répandues en Tunisie, sont les deux maladies foliaires les plus préjudiciables au rendement en grains de la plupart des céréales. Les taches septoriennes, occasionnées par *Septoria tritici*, dont la forme parfaite est *Mycosphaerella graminicola*, s'attaque uniquement aux feuilles et aux tiges. Alors que, les taches des glumes engendrées par *Septoria nodorum*, dont la forme parfaite est *Stagonospora nodorum*, attaque toute la partie aérienne des plants y compris les épis.

16.2.4.1. Taches Septoriennes

Au début, les taches septoriennes apparaissent comme de petites taches, de couleur variant du verte pâle au jaune, entre les nervures des feuilles de la base des plants. Elles s'allongent par la suite pour former des lésions brun rougeâtre dans lesquelles se trouvent les organes de fructification du champignon, dites pycnides ou pseudothèces, de couleur variant du brun foncé au noir (Figure 49).

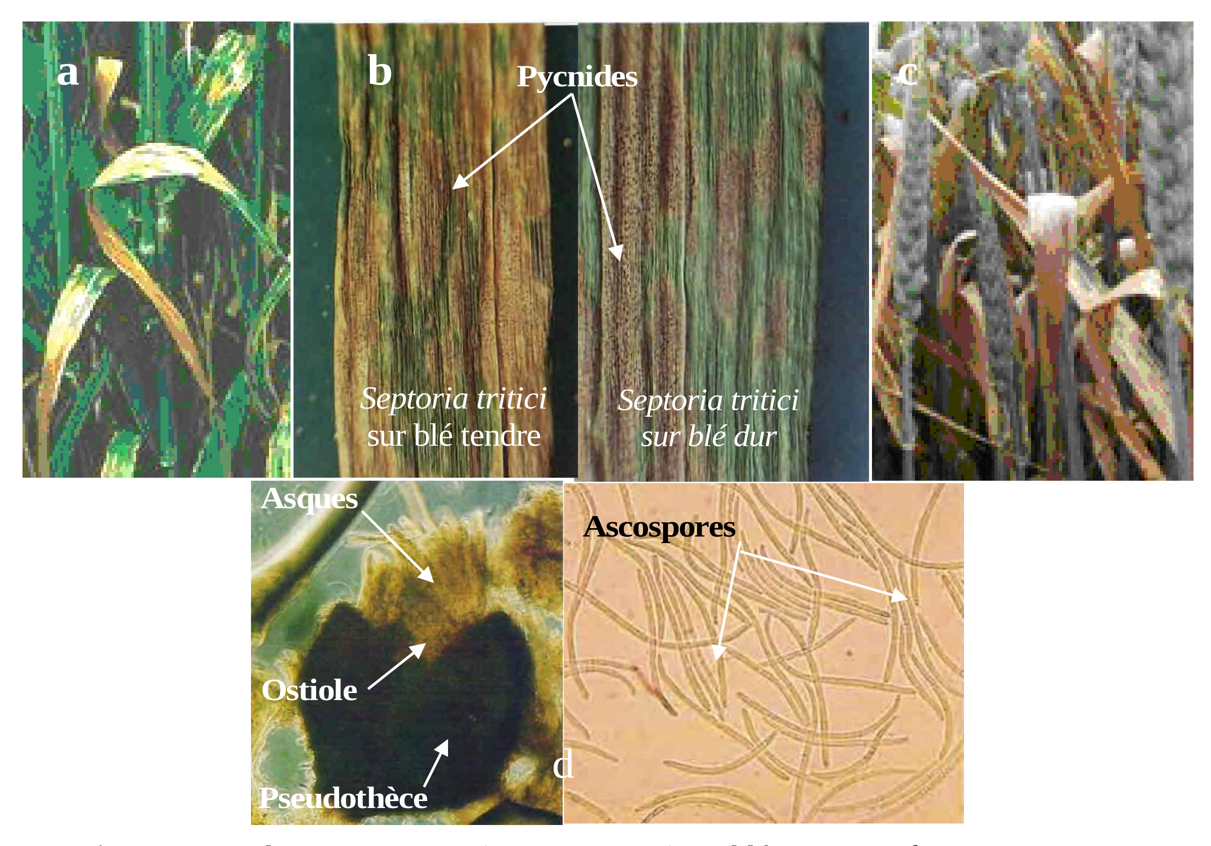


Figure 49. Taches septoriennes (*Septoria tritici*) sur blé avec: **a**: Infection primaire; **b**:Symptômes sur blé tendre et blé dur; **c**: Infection généralisée très avancée; **d**: Fructifications de *Septoria tritici*.

16.2.4.2. Taches des glumes

Les taches des glumes apparaissent après l'épiaison sous la forme de petites taches ovales et irrégulières sur les feuilles de couleur variant du gris au brun, et des zones brunes

violacées sur les glumes et les glumelles. Les zones atteintes sont également ponctuées de petites pycnides noires (Figure 50). La présence des pycnides est un élément déterminant du diagnostic qui permet de distinguer entre les taches septoriennes, les taches des glumes et d'autres maladies foliaires.

Le seuil de nuisibilité des Septorioses est atteint lorsque la 3ème feuille, en partant du haut, est contaminée. Une atteinte forte et précoce par *Septoria tritici* et *Septoria nodorum* peut provoquer l'inhibition de la photosynthèse et le dessèchement des tissus photosynthétiques. Le poids de mille grains et le poids spécifique des grains sont ainsi fortement réduits. Des chutes de rendement en grains de 50 à 80 % peuvent être enregistrées.

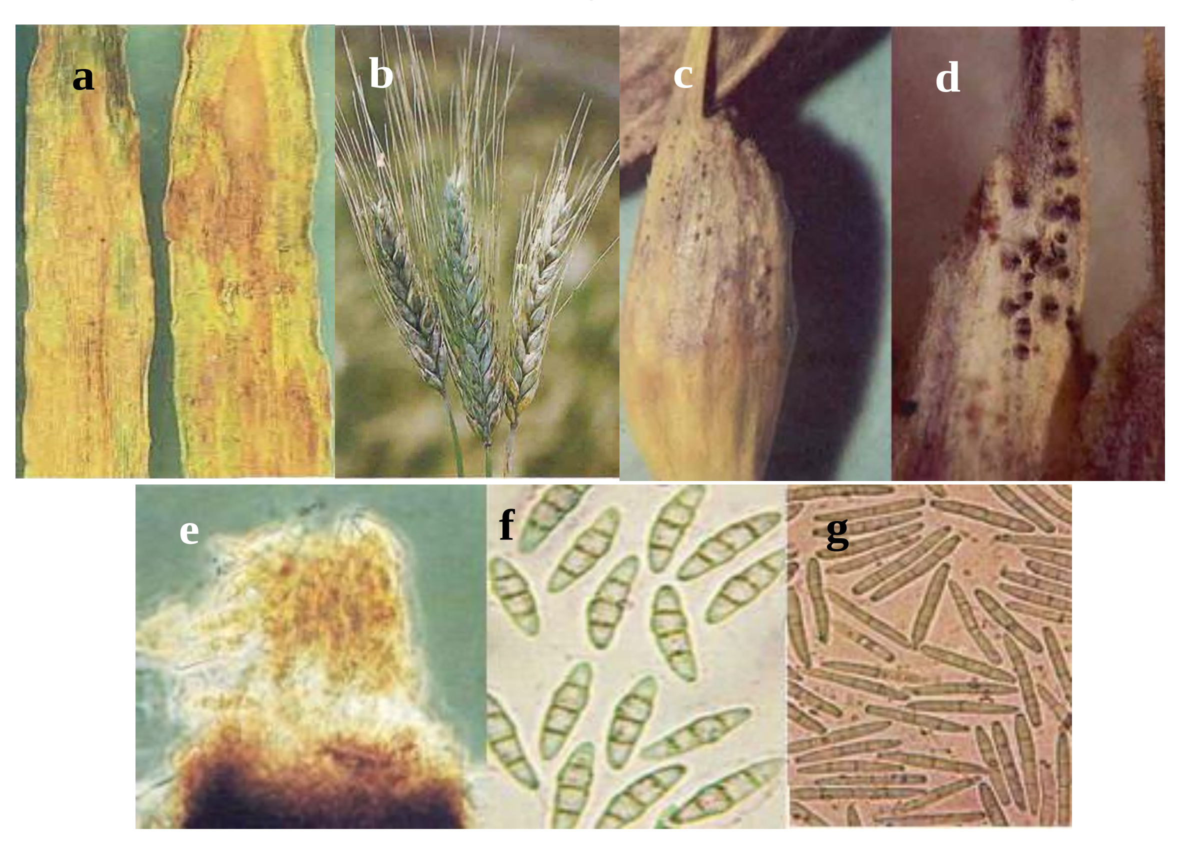


Figure 50. Tache des glumes (*Septoria nodorum*) sur blé avec **a**: Symptômes typiques sur les feuilles; **b**: Symptômes typiques sur les épis; **c:** Symptômes sur les glumes de blé dur; **d**: Périthèces de *Leptosphaeria nodorum* sur glume; **e**: Pycnide, asques et ascospores de *L. nodorum*; **f**: Ascospores de *L. nodorum*; **g**: Conidies de *S. nodorum*

Les deux genres de Septoria survivent dans les semences, les pailles, les chaumes et les repousses de céréales. Leur progression est généralement verticale, à partir de la base des plants vers le haut. Une fois les glumes sont infectées, *Septoria nodorum* se propage dans un sens horizontal au niveau des épis. La propagation de ces deux maladies est favorisée par des conditions humides ou pluvieuses du printemps et des températures variant de 15° à 25 °C. Toutefois, *Septoria nodorum* tolère les températures légèrement élevées plus que *Septoria*

tritici. La reproduction du champignon peut se faire par les deux voies sexuée et asexuée. L'épidémie est provoquée par la multiplication asexuée. Les pycnospores, produites par cette dernière, sont projetées par les éclaboussures des gouttes de pluie sur les plants sains qui seront, par la suite, contaminés. Les précipitations automnales déclanchent la voie de multiplication sexuée. Les pseudothèces éclosent sur les débris de récolte et libèrent les ascospores qui seront dispersées par le vent et pourront infester les plants levés après le semis.

La lutte contre ces deux maladie foliaires est basée sur :

⇒ la rotation des cultures et l'introduction d'autres espèces notamment les légumineuses et les espèces industrielles;

⇒ l'enfouissement des résidus de céréales par le travail du sol réduit fortement le pouvoir infectieux de l'inoculum;

⇒ l'enlèvement des repousses du blé spontané;

⇒ le respect de la densité et de la date du semis permet d'avoir une végétation clairsemée et d'épargner la culture céréalière de la concurrence pour la lumière et l'étiolement;

⇒ la fertilisation minérale équilibrée occasionne le développement de plants robustes;

⇒ l'utilisation des semences sélectionnées et traitées avec un fongicide spécifique permet de prévenir les infections transmises par les semences;

⇒ la recherche de génotypes tolérants ou résistants aux maladies foliaires, notamment, les Septorioses;

⇒ les traitements foliaires préventifs avec des fongicides spécifiques sous des conditions climatiques favorables.

16.2.5. Rouilles

Divers types de rouilles infectent les céréales dont particulièrement, la rouille brune des feuilles, la rouille des tiges, la rouille jaune et la rouille couronnée. Elles sont aussi virulentes que:

- l'infection est précoce, aux stades de sortie de la dernière feuille et de floraison,
- les températures sont douces, variant de 20 à 28 °C le jour et de 16 à 22 °C la nuit,
- l'hygrométrie relative est proche de la saturation.

Les rouilles sont des parasites obligatoires hétéroïques ou hétéroxènes. Leur cycle biologique se déroule sur deux plantes hôtes d'origines botaniques différentes:

- un hôte écidien sur lequel il va accomplir les stades S et I

- un hôte téleutosporien sur lequel il va réaliser les stades II, III et IV.

Cinq types de fructifications seront ainsi produites: la baside, la spermogonie, l'écidie, l'urédosore et la téleutosore (Tableau 28).

Tableau 28. Différents types de fructifications des rouilles.

Nom de la spore	Stade de la Maladie	Type de spore	Nom de la fructification
Basidiospore	0 ou IV	Spore haploïde sexuée	Baside (n)
Spermatie	S	Spore asexuée haploïde	Spermogonie
Ecidiospore (Eciospore)	E ou I	Spore diploïde sexuée	Ecidie
Urédospore (Urediospore)	U ou II	Spore diploïde Sexuée	Urédosore
Téleutospore (Teliospores)	T ou III	Spore diploïde puis diploïde sexuée	Téleutosore

Les rouilles des céréales sont hétéroxènes dont le cycle biologique se développe sur deux espèces différentes en deux phases: l'une est sexuée et la seconde est asexuée. Au début du printemps, les écidies, développées sur l'hôte intermédiaire libèrent des écidiospores. Ces dernières seront véhiculées par le vent sur de longues distances pour contaminer les cultures céréalières (Figure 51).

Le mycélium se développe à l'intérieur des tissus des cultures céréalières en quelques heures et effectue un cycle complet, selon les conditions climatiques, durant 7 à 10 jours. Les écidiospores donnent naissance aux urédosores qui renferment les urédospores. Ces dernières sont des fructifications estivales très agressives. Suite à leur dissémination d'une région à une autre, les urédospores assurent la reprise du cycle de la maladie et la survie du champignon. Au début de l'été, à la fin du cycle de développement de la culture céréalière, les urédosores se transforment en téleutosores qui paraissent réparties sur la face supérieure des feuilles. Les urédosores sont incapables d'assurer une nouvelle infection des céréales. Leur germination, conditionnée par la présence d'eau libre et l'alternance de très hautes et de très basses températures, engendre des basides (Figure 51). Les basidiospores contamineront obligatoirement l'hôte intermédiaire, sur lequel vont se former les spermaties. Un mycélium développé à partir des ces dernières va produire des écidies qui infecteront de nouveau la culture céréalière (Figure 51). En cas d'absence d'un hôte intermédiaire, le cycle biologique de la rouille sera bloqué. Sous des conditions climatiques favorables, la rouille effectue, durant la même compagne agricole, entre 2 et 5 cycles biologiques.

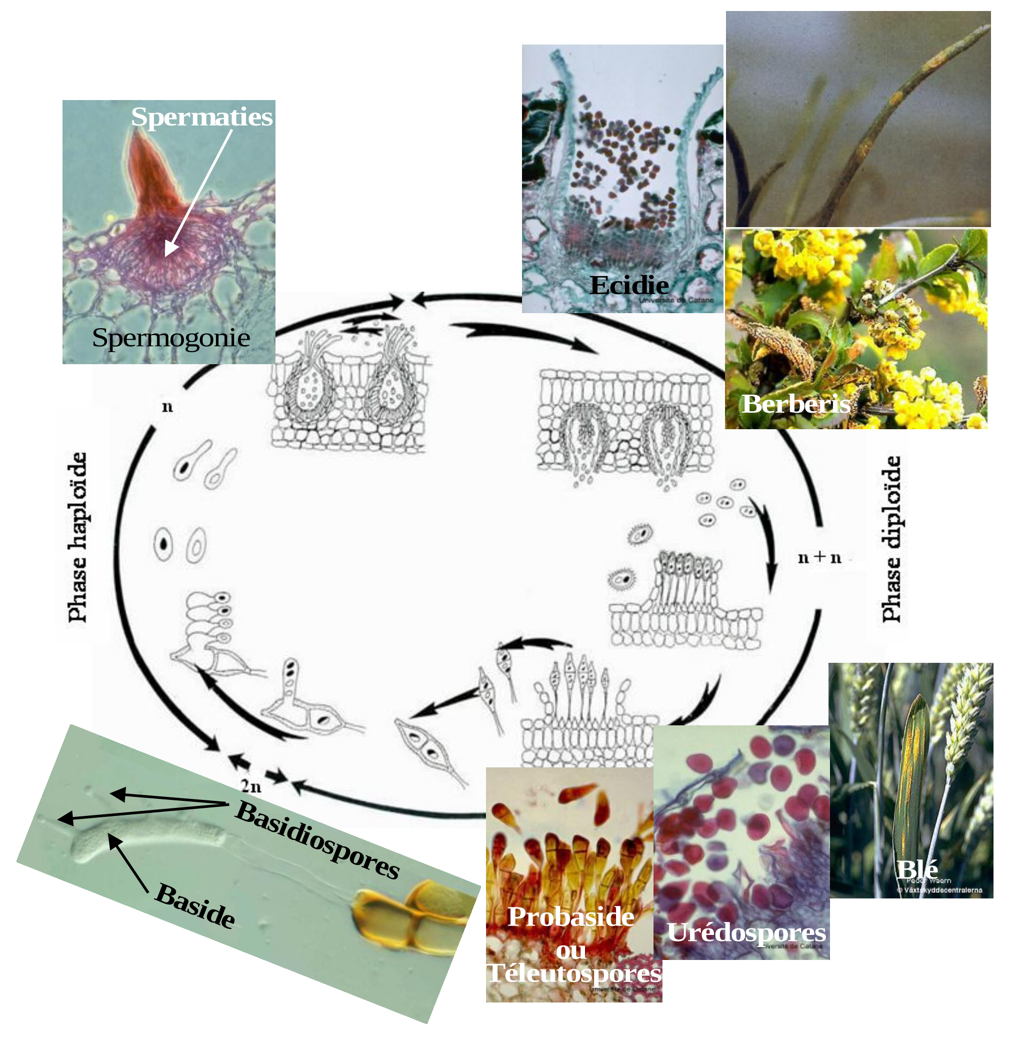


Figure 51. Cycle biologique de la rouille noire des céréales (*Puccinia graminis*).

16.2.5 .1. Rouille brune des feuilles

La rouille brune des feuilles est la plus courante dans les régions céréalières de la Tunisie. Une quarantaine de races physiologiques y ont été identifiées. Elle menace principalement le blé (*P. triticinia* Ericks. ou *P. recondita* F. sp. *Tritici*), l'orge (*P. hordei* ou *P ; anomala*), l'avoine (*P. coronata*), le seigle (*P. dispersa*) et le maïs (*P. sorghi*). Le champignon est porté par les vents orageux en provenance des régions céréalières à partir des plants infectés. Généralement, l'infection, conditionnée par la présence de gouttelettes d'eau sur les feuilles, apparaît en mois de mai-juin, sous des températures variant de 15 à 27 °C, avec une virulence variable selon les conditions climatiques et la sensibilité du génotype cultivé. Les variétés tardives apparaissent les plus risquées. Suite aux déperditions d'eau entraînées par l'infection, les grains subissent un échaudage pathologique. Les pertes de rendement occasionnées par la rouille brune des feuilles varient de 10 à 40 %. Le contrôle de la maladie est basé sur la résistance variétale et les traitements chimiques spécifiques.

L'hivernage des téleutospores permet la reprise du cycle biologique du champignon et l'établissent de l'inoculum primaire pour les nouvelles cultures céréalières. La germination des téleutosores, ou probasides, donne naissance aux basides qui produisent des basidiospores. Ces dernières infecteront l'hôte écidien qui est du genre *Thalictrum* (Pigamon à feuilles d'ancolie) et *Anchusa* pour la rouille brune du blé et l'épine vinette (*Berberis vulgaris* L.; *B. canadensis* Mill. ; *B. fendleri* ou *Ornithogalum umbellatum)* pour la rouille brune de l'orge.

Sur la face supérieure de l'hôte écidien, un mycélium haploïde comporte des spermogonies qui contiennent les spermaties et des hyphes réceptifs. Ces deux derniers réalisent une plasmogamie. Sur la face inférieure, le mycélium diploïde produit les écidies, remplies d'écidiospores (Figure 52a), qui infecteront à leur tour la culture céréalière. Auparavant, la maladie se manifeste par la formation de petites pustules, ou téleutosores, de couleur jaunes-brunes, couvertes par l'épiderme et entourées par des zones chlorotiques sur la face supérieure des feuilles et des gaines foliaires de la plante hôte. Les téleutosores sont les fructifications hivernales du champignon qui se développent durant la maturité de la culture. Les téleutospores, enfermés dans les téleutosores, sont de couleur brune foncée, doubles loges et caractérisés par une cuticule épaisse (Figure 52b). Ils représentent la première étape du cycle sexuel du champignon et diffèrent des urédospores par la couleur, la forme et la fonction.

En cas d'une infestation grave, les feuilles jaunissent puis brunissent et même les épis peuvent être contaminés. A la fin du cycle de croissance de la culture, les urédosores, brun-rougeâtre, se transforment en téleutosores, de couleur noirâtre.

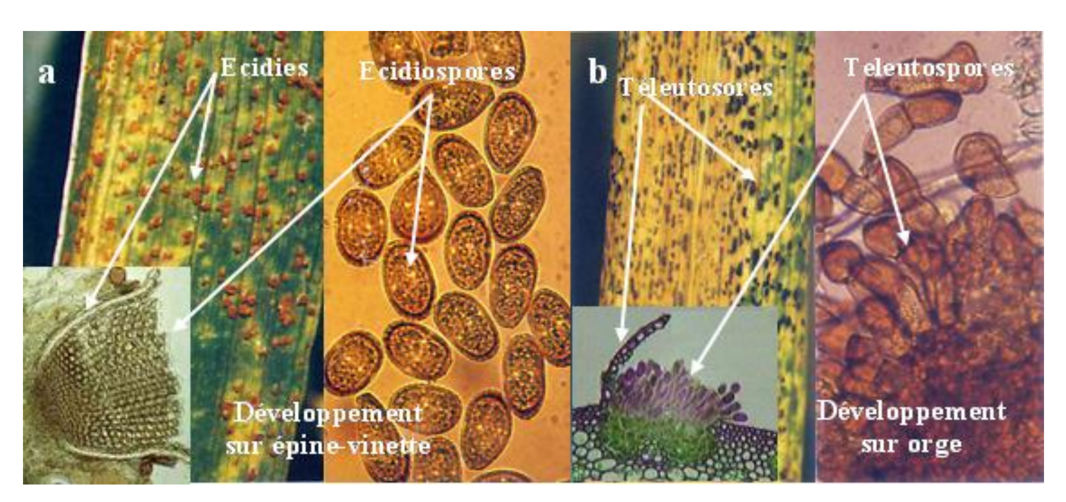


Figure 52. Fructification de la rouille brune des feuilles sur l'épine vinette **(a)** et sur orge (b).

16.2.5 .2. Rouille noire des Poacées

Bien qu'il soit le moins fréquent, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers., l'agent causal de la rouille noire des Poacées, est le plus dangereux parmi les différents types de rouilles des céréales. Il comporte plus de 200 races physiologiques. Le blé, l'avoine, l'orge, le seigle, le ray-grass et d'autres céréales… sont des hôtes téleutosporiens, sur lesquels il passe les stades II et III de son cycle biologique. Au préalable, la maladie se manifeste par l'apparition de taches brunes rougeâtres sur les deux faces des feuilles, des tiges et des épis. Lorsque ces taches s'étendent, l'épiderme s'éclate. Des amas de spores sont libérés dans l'air tout en laissant la surface des tissus déchiquetée (Figure 53a). L'épine vinette, *Berberis vulgaris,* est l'hôte écidien sur lequel le champignon passe les phase S et I de son cycle biologique.



Figure 53. Contamination du blé par la rouille noire des tiges (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici* Pers.) avec **a**: Symptômes sur feuilles, tiges et épis; **b**: Fructifications du champignon.

Généralement les premières urédospores (Figure 53b) peuvent être observées à la fin du mois de juin et au début du mois de juillet. Seulement, parfois, elles peuvent apparaître dès le mois de mai. Les téleutospores (Figure 53b) apparaissent en mi-juillet sur les gaines

foliaires, les chaumes et les cols des épis. La maladie pourrait occasionner la destruction totale de la végétation. Les déperditions d'eau occasionnées par la maladie au moment du « palier d’eau » engendrent un échaudage pathologique. Les dégâts sont, ainsi, très graves et les rendements obtenus sont très réduits. L'agriculteur devrait, donc, opter pour les génotypes précoces qui échappent à l’infection. Des pesticides spécifiques permettent de contrôler cette maladie.

16.2.5 .3. Rouille jaune

La rouille jaune (*P. striiformis*; *P. glumarum* Eriks. et Henn.) attaque le blé, l’orge, le triticale, le seigle et d’autres graminées. Elle est considérée parmi les plus importantes rouilles qui contaminent surtout le blé dans les régions céréalières de l’Afrique du Nord. Elle est caractérisée par des urédospores jaunes orangés, disposées en lignes parallèles sur les nervures au niveau de la face supérieure des limbes (Figure 54a).

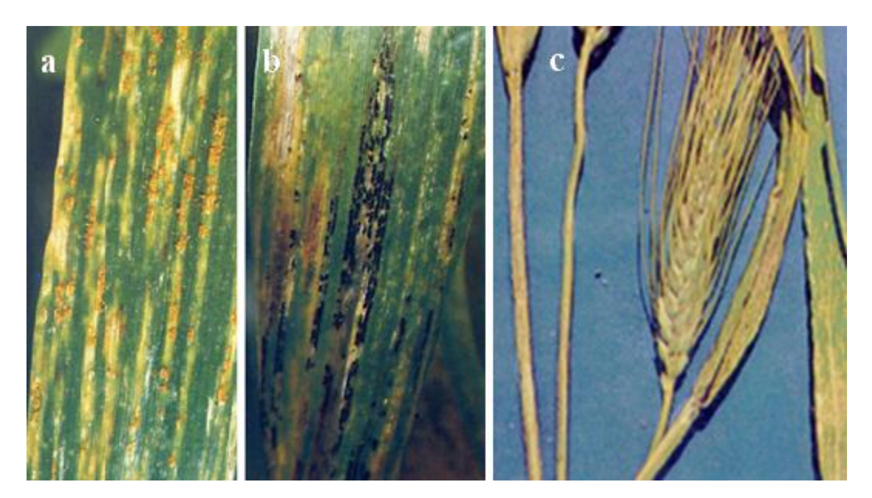


Figure 54 . La rouille jaune (*P. striiformis, P. glumarum* Eriks. Et Henn.); avec **a**: Urédospores; **b**: Téleutospores; **c**: Feuilles, tiges et épis sévèrement attaqués par la rouille jaune. .

Plus de 30 races physiologiques de rouille jaune ont été répertoriées. Contrairement à la rouille brune des feuilles et à la rouille noire des tiges, la rouille jaune n'a pas besoin d'un hôte intermédiaire pour compléter son cycle biologique. L’inoculum primaire est véhiculé par les vents sur de longues distances. En cas d’une infection épidémique sous des températures élevées, les pustules couvrent entièrement les feuilles et deviennent noirâtre. C’est le stade téleutospore (Figure 54b). La contamination commence par les feuilles, puis gagne les gaines, les tiges et les épillets (Figure 54c). L'impact de la rouille jaune sur la culture est étroitement lié aux conditions environnementales qui règnent au début de la saison. Un printemps précoce avec des températures fraîches de 10 à 15 °C en la présente de gouttelettes d’eau ou de la rosée sont des conditions très favorables à la contamination et à l’évolution de la maladie. Le

contrôle de cette maladie est basé sur le choix de génotypes résistants ou tolérants et les traitements chimiques avec des produits appropriés au moment opportun.

16.2.5 .4 . Rouille couronnée

La rouille couronnée (*Puccinia coronata var. avenae*) est une maladie de l'avoine et de certaines graminées sauvages comme la Fétuque et l'Ivraie. Elle est largement distribuée dans les zones de culture de l'avoine. L'agent pathogène n'est transmis ni par les semences ni par le sol. La maladie est caractérisée par la production de pustules de couleur orange sur les feuilles et les gaines (Figure 55**)**.

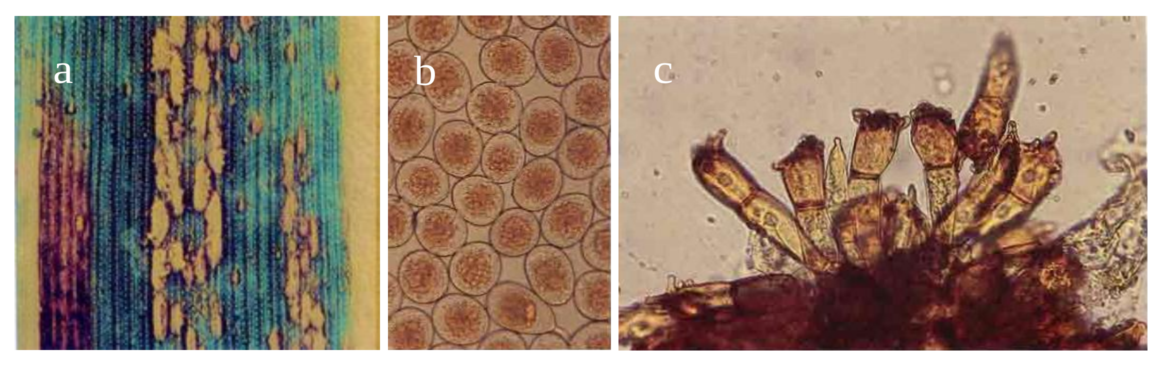


Figure 55. Rouille couronnée sur feuille d'avoine (*Puccinia coronata var. avenae*) avec **a**: Pustules; **b**: Urédospores; **c**: Téleutospores

L'éclatement des pustules libère des milliers de spores de couleur jaune-orange qui sont disséminées et véhiculés par le vent sur de longues distances pour contaminer de nouvelles cultures. Une très grande diversité dans les races physiologiques du champignon est due en partie à la distribution large de l'hôte alternatif, le nerprun cathartique (*Rhamnus cathatica*), et des espèces apparentées. La maladie est souvent épidémique et engendre de lourdes pertes de rendement. Elle est problématique surtout lorsque l'infection est précoce dans la saison, la température varie de 20 à 25 °C durant le jour et de 15 à 20 °C durant la nuit et l'humidité relative est proche de la saturation en la présence de la pluie ou de la rosée.

16.2.6 -Charbons

Les grains des épis affectés par le charbon sont remplacés par des masses de spores noirâtres d'apparence poudreuse. Il y a deux types de charbons: charbon nu et charbon couvert.

16.2.6.1. Charbon nu

Le charbon nu attaque le blé (*Ustilago tritici*), l'orge (*Ustilago nuda*) (Figure 56) et d'autres espèces céréalières sauvages. En revanche, l'avoine et le seigle sont assez tolérants à cette maladie fongique qui affecte les grains. Les grains contaminés sont complètement détruits et remplacés par une masse de spores noirâtres démunie d'enveloppes membranaires

de protection. La dissémination des spores, provoquée par le vent, coïncide avec le stade floraison des plants sains. Au stade floraison, une température de l'ordre de 15 °C et une hydrométrie relative proche de la saturation favorisent la germination des spores et le développement du mycélium qui gagne les ovaires et les germes des grains. Les grains sont, ainsi, remplacés par des amas de spores sèches et noires, visibles peu après la sortie des épis. Avec le temps, il ne reste que des épis nus (Figure 56).

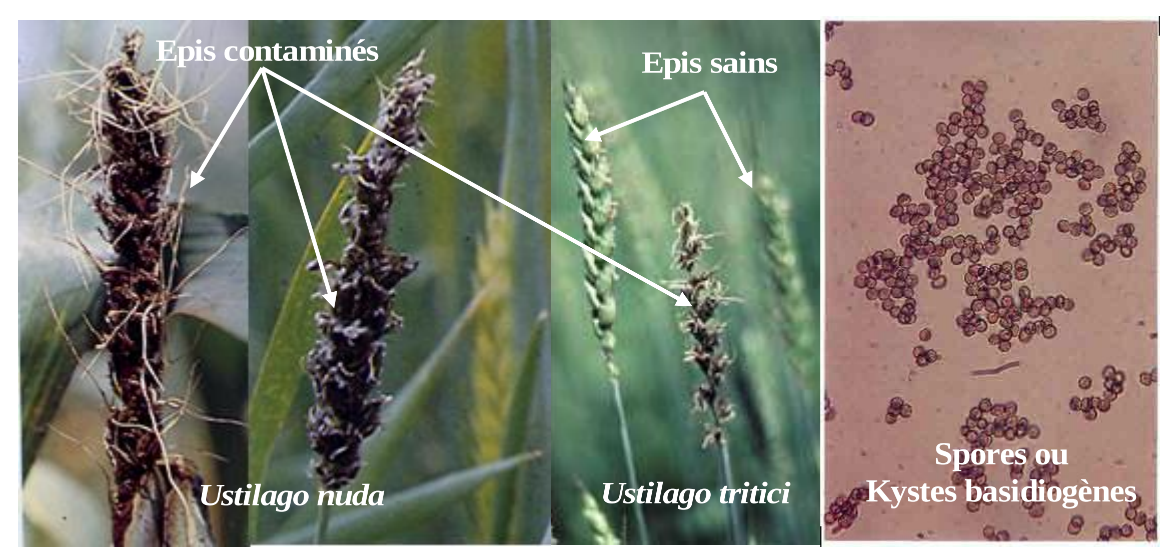


Figure 56. Charbon nu sur orge (*Ustilago nuda*) et sur blé (*Ustilago tritici*) et amas de spores ou kystes basidiogènes.

Les semences contaminées paraissent normales et peuvent être confondues avec les semences saines. Après semis, le champignon se développe de proche en proche, s'installe dans toute la plante et finit par infecter les épis. Jusqu'au moment de l'épiaison, les plants infectés paraissent normaux. L'emploi de semences infectées non traitées engendre des pertes de rendement de 10 à 30 %. Il est recommandé de semer des semences sélectionnées préalablement traitées moyennant d'un fongicide systémique.

16.2.6.2. Charbon couvert de l'orge

Le charbon couvert, occasionné par *Ustilago segetum ou hordei*, est largement distribué dans le monde et particulièrement dans les régions où les semences utilisées sont non traitées. Il attaque principalement l'orge et l'avoine. Toutefois, on signale la présence de deux formes d'*Ustilago hordei* qui sont pourvus de caractéristiques morphologiques identiques mais diffèrent par leur capacité de parasiter l'avoine et l'orge. L'une infecte l'orge et non pas l'avoine; alors que la seconde infecte l'avoine et non pas l'orge. Dans le cas de ce type de charbon les glumes ne sont pas entièrement détruites et une fine membrane blanchâtre non opaque laisse entrevoir la masse de spores noires.

Au stade de maturité, des masses de spores brun foncée ou noirâtres, dites sores, sont formées sur les grains sans toucher les glumes et les glumelles (Figure 57a). Parfois, les sores qui enferment les téliospores, se développent sur les limbes foliaires et les tiges sous la forme de longues stries (Figure 57b). Les épis charbonnés, partiellement apparus ou enfermés dans les gaines des feuilles drapeaux, ont tendance à émerger plus tard que les épis sains (Figure 57c).

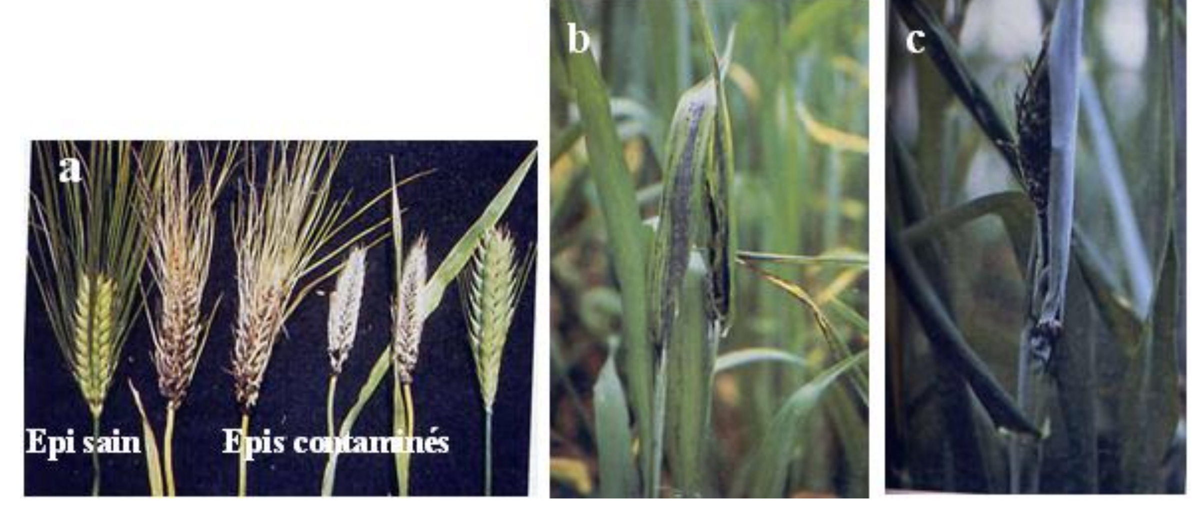


Figure 57. Plants d'orge contaminés par le charbon couvert (*Ustilago segetum* ou *hordei*).

Durant la moisson, les téliospores, qui couvrent la surface et les crevasses des grains, sont libérés et déposés sur la surface du sol où ils continuent à survivre. Sous une température ambiante de 14 à 25 °C et une humidité dans le sol assez élevé, ils germent en même temps que les semences. Le mycélium gagne le coléoptile, avance dans les tissus de la plante hôte et s'établit au niveau du germe. Il migre vers les épis et forme une masse fongique à la place des grains.

Au moins 13 races physiologiques d'*Ustilago segetum* ou *hordei* sont répertoriées. Les pertes de rendement dues à cette maladie sont assez élevées en quantité et en qualité. Comme les épis contaminés sont récoltés avec les épis sains, la production récoltée est de moindre qualité. Le contrôle du charbon couvert est basé sur l'utilisation de génotypes résistants et des semences sélectionnées traitées avec des fongicides systémiques.

16.2.7. Caries

16.2.7.1. Carie commune

La carie commune qui engendrent le charbon couvert du blé, est occasionnée par *Tellitia carie* ou T. *tritici* et *T. foetida* ou *T. laevis*. Ces deux champignons sont considérés comme des variants de la même espèce. En fait, ils sont caractérisés par des morphologies similaires, le

même cycle biologique et les mêmes races physiologiques. Néanmoins, ils diffèrent légèrement par la forme et la texture des téleutospores (Figure 58).

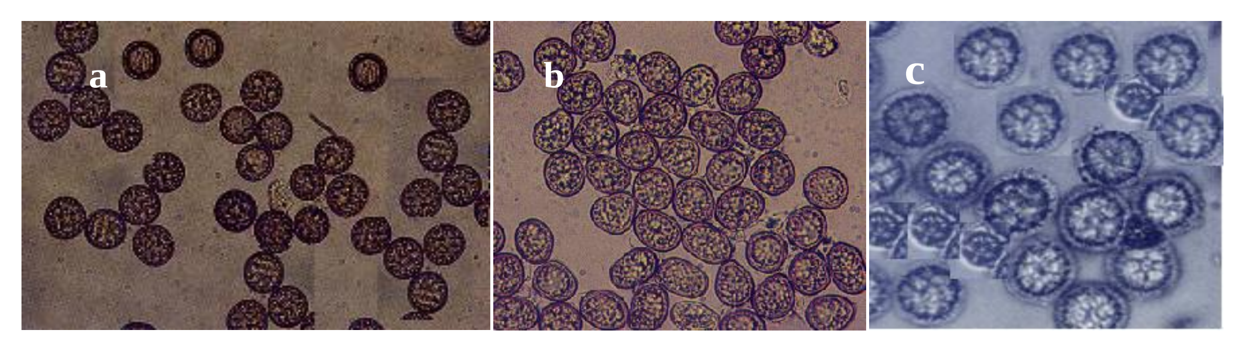


Figure 58. Teliospores des caries commune et naine avec **a**: *T. carie;* **b**: *T. foetida* et **c**: *T. controversa.*

Cette maladie, transmise par le sol et les semences, attaque les blés, surtout le blé tendre, l'orge et d'autres céréales. Elle sévit partout dans le monde, notamment dans les régions de culture du blé. Les symptômes de l'infection deviennent visibles après la montaison. Les plants infectés, caractérisés par un fort tallage, semblent légèrement plus courts que les plants sains (Figure 59a).

Les épis contaminés, de couleur verte bleuâtre, mûrissent tôt dans la saison. Les glumes tendent à s'écarter pour faire apparaître des grains malades, de formes arrondies et de couleur grise brunâtre (Figures 59b et 59c) qui dégagent l'odeur caractéristique du poisson. Les grains normaux sont remplacés par des masses sporifères (Figure 60).

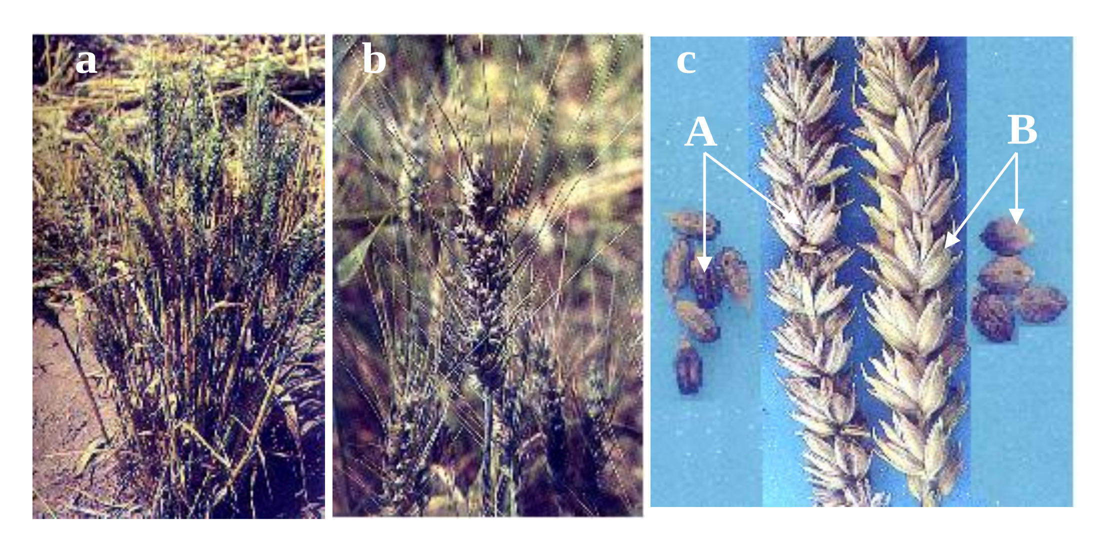


Figure 59. Plants de blé contaminés par la carie commune avec **a:** fort tallage et taille courte des plants infectés; **b:** les glumes des épis infectés sont écartées sous l'effet des grains gonflés; **c:** A: épi et grains attaqués par *Tellitia carie* et **B** épi et grains attaqués par *Tellitia foetida*.



Figure 60. Comparaison entre les grains de blé avec **a**: grains sains; **b:** grains infectés par *T. foetida;* **c:** grains infectés par *T. carie;* **d:** grains infectés par le nématode *Anguina tritici*.

16.2.7.2. Carie naine

Occasionnée par *Tellitia controversa,* la carie naine attaque le blé et l'orge, Cette maladie est rare en Afrique du Nord et dans les pays de l'Est. Cependant, elle est très répandue aux USA, au Canada, en Europe, au Suède et là où la chute de neige est assez fréquente.

La carie commune et la carie naine sont difficiles à distinguer l'une de l'autre, de telle sorte que le diagnostic doit être souvent confirmé par un examen microscopique. Les masses sporifères de la carie naine sont plus petites que celles de la carie commune et ont tendance à être plus arrondies (Figure 59). Les plants infectés par la carie naine sont beaucoup plus courts que les plants sains. Cependant, les plants infectés par la carie commune sont légèrement plus petits que les plants sains.

Ces champignons pathogènes sont caractérisés par la production de masses sporifères qui remplacent les grains contaminés. Ces masses contiennent les téleutospores noirâtres avec un aspect poudreux. Lors de la moisson, les masses sporifères se brisent facilement et libèrent les téleutospores qui provoquent la contamination des grains sains.

16.2.7.3. Carie de Karnel

La carie de Karnel (*Tellitia Indica*), originaire de la région de Pendjab du Sous continent Indien, attaque le blé dur, le triticale et particulièrement le blé tendre. Lors de la moisson ou l'entreposage des semences, les masses sporifères sont rompues pour libérer les téleutospores. Ces dernières, dispersées par le vent et les insectes ou autres, sont visibles à l'œil nu et forment une pellicule sur les grains. En outre, lors de la conservation des semences contaminées, l'embryon et une partie de l'endosperme sont convertis en une masse sporifère sèches noirâtres (Figure 61a). Ils dégagent une odeur de poisson pourri similaire à celle de la carie commune. Les semences de la culture précédente et les sols contaminés représentent la source principale de l'inoculum primaire.

La germination des téleutospores donne naissance à de nombreuses spores dispersées par le vent et les insectes à la surface du sol (Figure 61b).

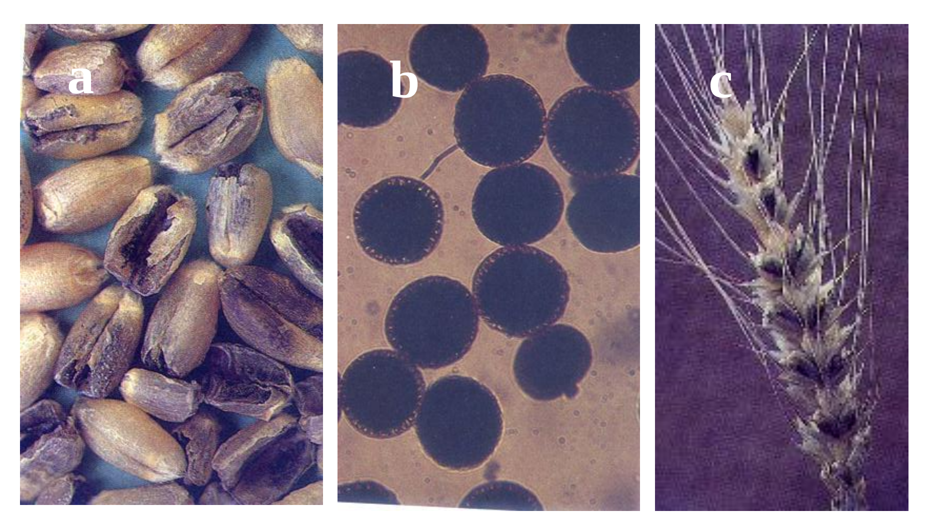


Figure 61. Carie de Karnel (*T. controversa*).avec **a:** Semences de blé contaminées; **b**: Téleutospores (spores noirâtres); **c**: Epillets d'un épi de blé contaminés.

Durant le stade floraison, les ovaires de quelques fleurs par épillet de la plante hote sont infectés. Les grains sont remplacés partiellement ou complètement par des masses de téleutospores (Figure 61c).

De nombreux pays importateurs de blé exigent une tolérance zéro contre la carie. L'efficacité des produits homologués pour le traitement des semences n'est pas toujours garantie.

16.2.8. Rhynchosporiose

L'agent causal de cette maladie cryptogamique est *Rhynchosporium secalis* qui attaque particulièrement l'orge, le seigle et certaines graminées autres que le blé. Elle est caractérisée par des symptômes particuliers qui apparaissent, au début, sous la forme de taches vert-grises parsemées sur les feuilles (Figures 62a) et les gaines foliaires (Figures 62b). Par la suite, ce champignon envahit entièrement les feuilles qui deviennent blanchâtres et entourées d'un halo brun foncé (Figures 62a, 62b). Une infection sévère peut induire la contamination des épis (figure 62c) et des grains et même le dessèchement total du feuillage.

L'infection est favorisée par des semis denses conjugués à des températures faibles variant de 10 à 20 C° et une hygrométrie relative élevée occasionnée par la rosée, les précipitations et l'irrigation par aspersion. Le champignon sévit sous la forme de mycélium sur les chaumes et les semences et non pas dans le sol. Le déclenchement de la maladie et sa propagation, de proche en proche, sont produits à partir des conidies (Figure 62d) et des mycéliums véhiculés par le vent, les insectes et l'éclaboussement des gouttes d'eau de pluie sur les résidus de culture et les céréales spontanées contaminées.



Figure 62. Symptômes caractéristiques du *Rhynchosporium secalis* avec **a**: sur les feuilles; **b**: sur les feuilles et les gaines foliaires; **c**: sur les épis; **d**: Conidies

Les pertes du rendement en grains varient selon la sévérité de l'infection et peuvent atteindre 40 %. Pour contrôler la maladie il serait utile de:

⇒ éviter la monoculture et respecter la rotation des cultures;

⇒ enfouir les résidus de culture dans le sol;

⇒ utiliser des semences sélectionnées traitées;

⇒ si les conditions climatiques s'avèrent favorables à l'infection, appliquer des traitements préventifs avec des produits spécifiques

16.2.9. Helminthosporiose

Cette maladie fongique des céréales est largement distribuée à travers le monde. Elle comporte de nombreuses espèces dont la distinction est basée, principalement, sur les espèces céréalières cultivées, les symptômes produits et les caractéristiques des conidies. Ces espèces produisent divers types des lésions foliaires, telles que des taches, des rayures, des spots, des décolorations, un aspect roussâtre des jeunes plants et des épis et des pourritures des talles et des racines. On pourrait citer :

16.2.9.1. *H. sativum* ou *Cochliobolus sativus*

H. sativum, dont la forme parfaite est *Bipolaris sorokiniana*, attaque toutes les espèces céréalières à l'exception de l'avoine sur laquelle il est inoffensif. Il produit des spots différents sur l'orge (Figure 63a) et sur le blé (Figure 63b). Il provoque la pourriture des racines des plants jeunes (Figure 63c).

Il a une faible importance économique dans les zones semi arides. Alors que dans les zones chaudes et humides, il occasionne des infestations sévères (Figure 63d) L'alimentation hydrique et minérale des plants contaminés est limitée. La sporulation dense (Figure 63e) donne un aspect gris velouté aux noeuds partiellement ou complètement détériorés. Les pertes de rendement en grains peuvent atteindre 20 %.

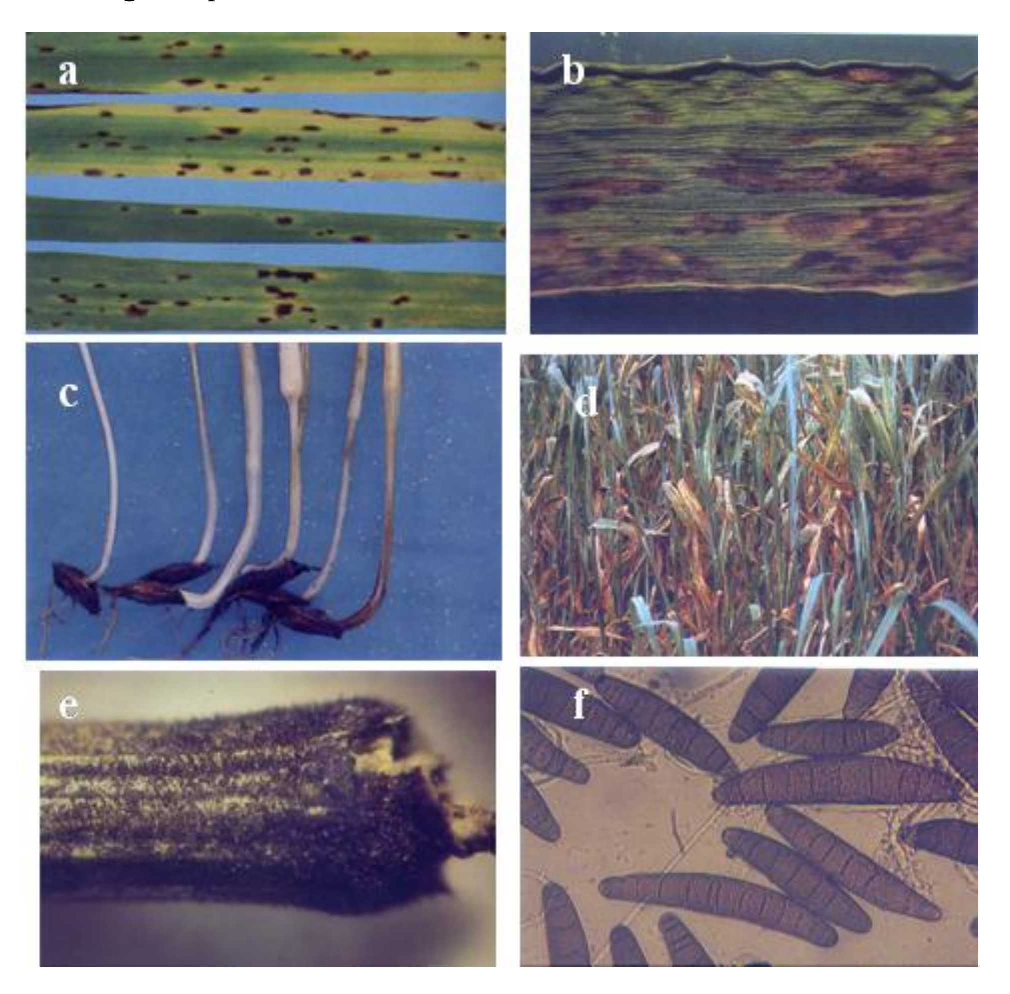


Figure 63. *Helminthosporium sativum* ou *Cochliobolus sativus* avec **a**: Spots sur orge; **b**: Spots sur blé; **c**: Pourritures sur des plants jeunes; **d**: Forte infestation sur une culture d'orge; **e**: Sporulation de *H. sativum* sur un nœuds contaminé; **f**: Conidies de *H. sativum*.

Les conidies se développent latéralement à partir des pores juste au-dessous des cloisons du Conidiophore. Les conidies sont brunes, oblongues olives et légèrement incurvées (Figure 63f). Les isolats varient considérablement selon la virulence. La forme parfaite est rarement produite dans la nature.

16.2.9.2. *H. tritici-repentis*

Les Anglo-saxons le dénomment Yellow leaf blotch ou Tan spot. C'est un champignon pathogène pour le blé et le triticale particulièrement dans les régions humides (Figure 64). Il est moins fréquent sur l'orge et le seigle; alors que l'avoine apparaît résistante à cette maladie.

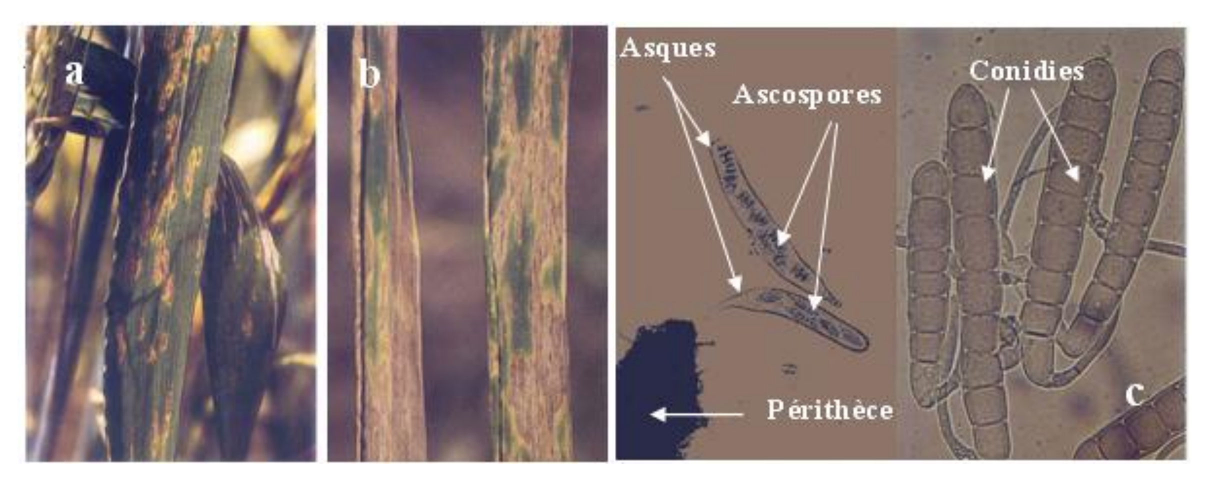


Figure 64. *Helminthosporium tritici- repentis* avec **a**: Symptômes typiques sur blé; **b**: Infection sévère du blé; **c**: Fructifications de *H. tritici-repentis.*

16.2.9.3. *H. avena*

Les taches foliaires de l'avoine ou Avena leaf blotch, occasionnées par *H. avena*, est une maladie apparemment spécifique de l'avoine. Le champignon peut se transmettre par les semences. Suite à la germination des spores, le mycélium se développe sur le coléoptile et gagne la végétation aérienne. Les infections suivantes sont assurées à partir des conidies produites sur les lésions. Les feuilles malades développent des taches brunes rougeâtres de formes ovales à oblongues (Figure 65a). Dans le cas d'une infection sévère, les panicules peuvent être contaminées.

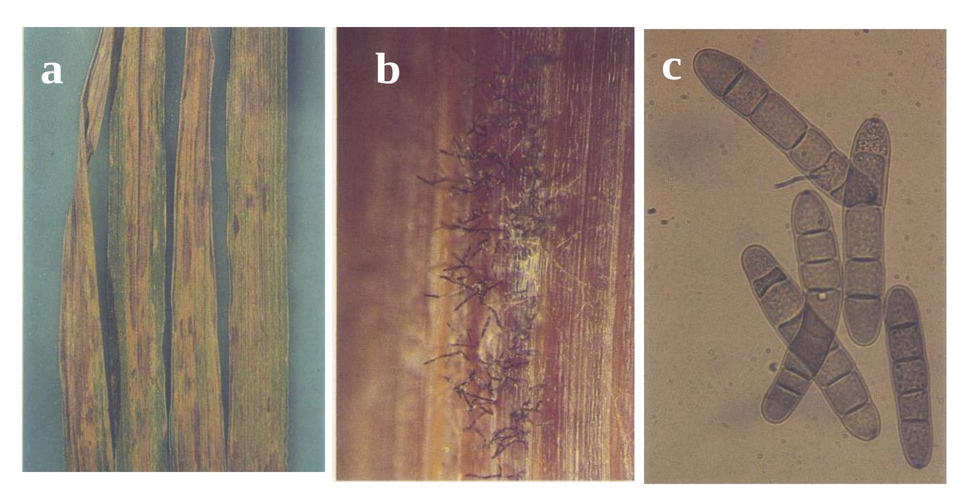


Figure 65. *H. avena* ou Avena Leaf blotch, avec **a**: Feuilles d'avoine sévèrement attaquées; **b**: Conidiospores de *H. avena;* **c**: Conidies de *H. avena*.

Les conidiophores épais et dispersés, se développent isolément ou en groupe de deux ou trois (Figure 65b) Au début, les conidies sont gris jaunâtres puis, avec l'âge, elles deviennent brun foncé. Elles sont érigées ou légèrement courbés, de forme cylindrique avec des extrémités arrondies (Figure 65c).

16.2.9.4. *H. teres*

H. teres (Anamorphe: *Drechslera teres*) est l'agent causal de la rayure réticulée (net blotch). Cette maladie est commune dans les régions fraîches et humides favorables pour la culture d'orge. Elle peut se développer à partir des semences contaminées ou bien des ascospores relâchées par les périthèces développées sur la paille et les chaumes de la culture précédente et délaissées sur le sol. Le champignon se développe généralement sur l'orge mais affecte également le blé, le triticale et d'autres graminées. Généralement, les symptômes apparaissent au début en tant que de petites taches brunes (Figure 66a), près de l'extrémité des feuilles. Par la suite, les spots se prolongent pour devenir des rayures ou bien des taches courtes avec une pigmentation brune qui s'étendent dans les sens transversal et longitudinal des feuilles (Figure 66b) et des tiges (Figure 66c). Les plants sévèrement infectés deviennent complètement nécrosés et desséchés (Figure 66d). Au stade maturité, l'infection peut atteindre les épis (Figure 66e).

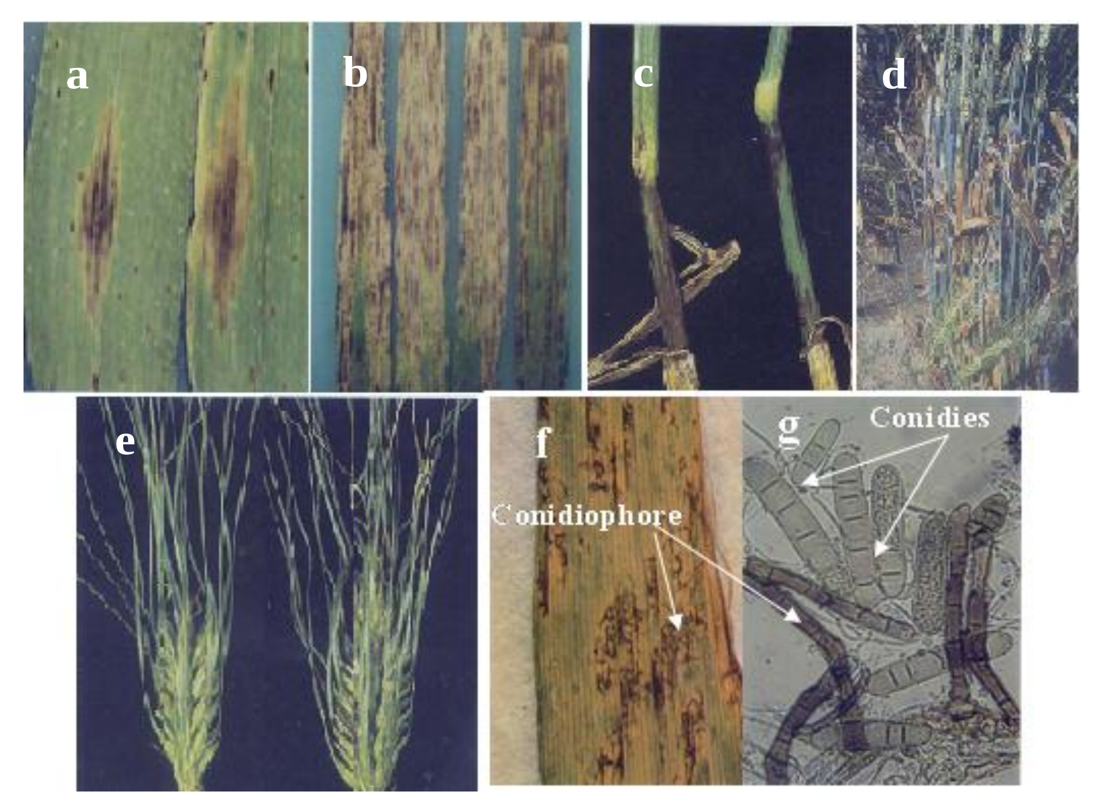


Figure 66. *Helminthosporium teres* (Net blotch) sur orge avec **a**: Lésions au stade primaire; **b**: Lésions à un stade avancé sur feuilles; **c**: Lésions à un stade avancé sur tige; **d**: Infection sévère d'une culture d'orge; **e**: Epis contaminés; **f**: Conidiophore sur feuille; **g**: Conidies.

Le développement des conidies est imprévisible. Généralement, après la floraison, on observe une sporulation sur les feuilles fraîches ou bien desséchées (Figure 66f). Les conidiophores se développent en single ou en groupes de deux ou de trois. Au stade juvénile,

les conidies sont rectilignes, cylindriques et de couleur gris clair puis avec l'âge elles se transforment en brun verdâtre (Figure 66g).

Le traitement des semences avec des fongicides appropriées permet de contrôler la rayure réticulée. La résistance à *H. teres* est obtenue à partir des anciennes variétés provenant de la Chine, de la Turquie et de l'Ethiopie.

16.2.9.5. *Pyrenophora graminea*

Les feuilles striées de l'orge (Barley stripe), provoquée par *Pyrenophora graminea* (Anamorphe: *Drechslera graminea* ou *Helminthosporium gramineum*), est une maladie systémique néfaste qui n'affecte que l'orge et se transmet par les semences. Après la germination, le champignon devient actif et envahit le coléoptile et les organes aériens de la plante. Les symptômes caractéristiques de cette maladie apparaissent au stade tallage (Figure 67a). Les plants contaminés par le *H. gramineum* sont nains. Des rayures jaunes étroites se développent le long des feuilles. Par la suite, elles prennent une couleur brun rougeâtre ou brun foncé (Figure 67b). Les feuilles fléchissent; noircissent et se dessèchent (Figures 67c et 67d). Généralement, les épis n'émergent pas. Bien que les symptômes apparaissent, à un stade juvénile des plants, la sporulation sur la feuille drapeau et les gaines foliaires est retardée jusqu'au stade floraison. Au niveau des fleurs, l'infection est produite à partir des conidies (Figures 67e, 67f) véhiculées par les vents. Au stade maturité, le champignon entre en phase de dormance après avoir envahi les enveloppes des grains.

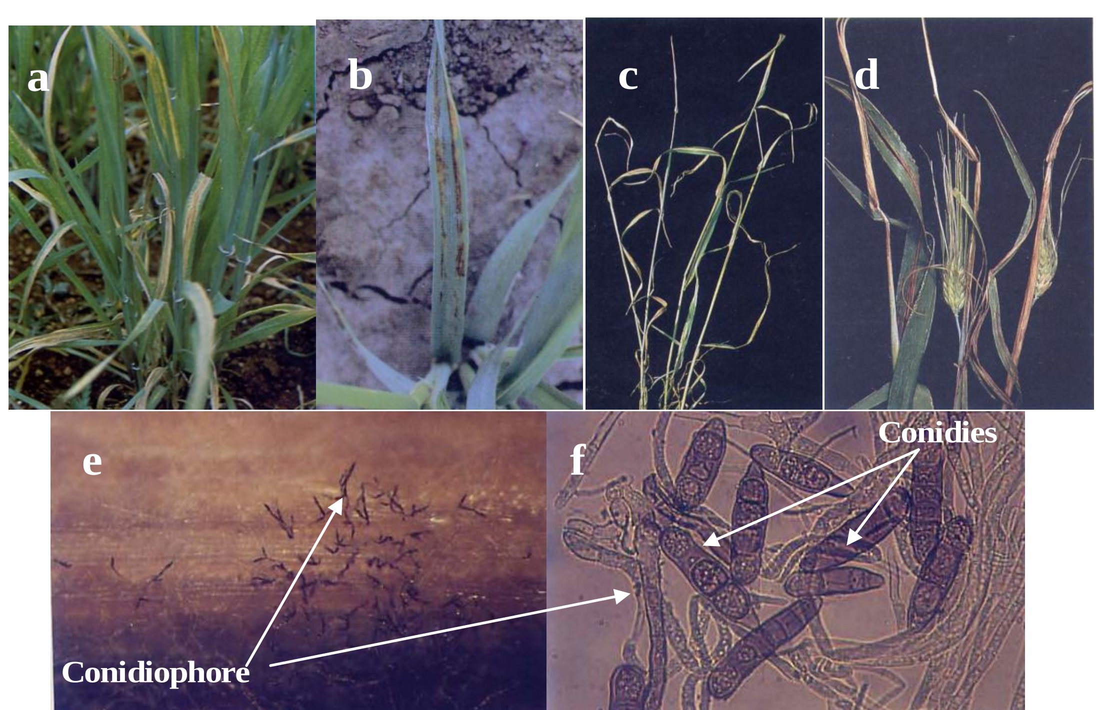


Figure 67. *H. gramineum* sur orge avec **a**: Infection primaire; **b**: Lésions typiques; **c**: Plant d'orge sévèrement contaminé; **d**: Infection sévère sur feuilles et épis; **e**: Conidiophore; **f**: Conidies.

16.2.9.6. *H. giganteum*

Le Zonate eye spot, provoqué par *H. giganteum*, est pathogène pour le blé, l’orge, le triticale, le seigle et d’autres espèces céréalières. Il se développe fréquemment dans les régions subtropicales humides. Les symptômes primaires apparaissent sous la forme de nombreuses petites taches, ovales ou circulaires de couleur brune-grise sur les feuilles vertes (Figure 68a). Suite au développement de l’infection, les lésions restent petites alors que les tissus entre les lésions ont un aspect blanchâtre (Figure 68b).

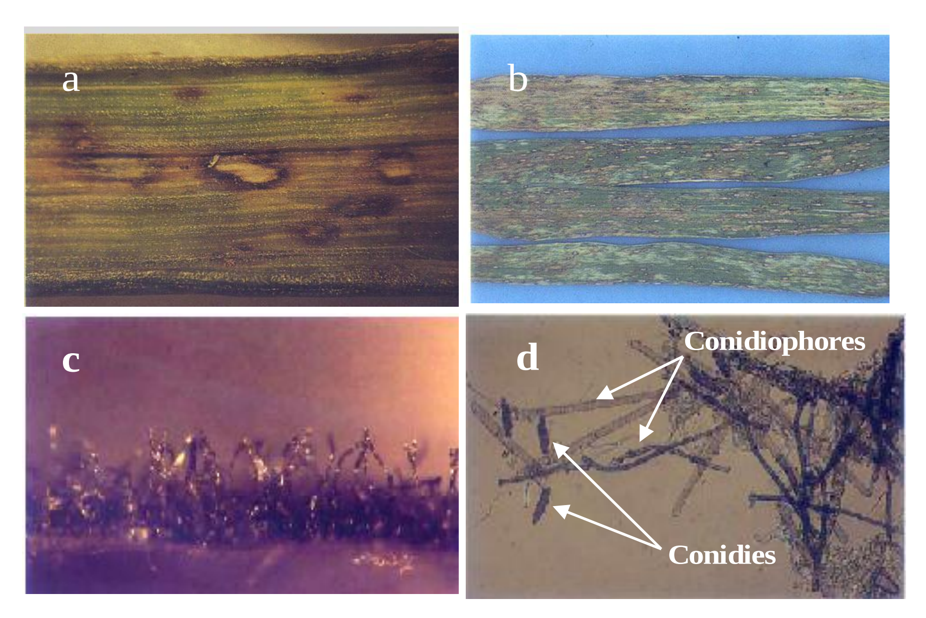


Figure 68. *H. giganteum* (Zonate eye spot) avec **a:** Lésions primaires; **b:** Symptômes d’une infection avancée; **c:** Sporulation; **d**: Conidiophores et conidies.

L’observation microscopique de la fructification du *H. giganteum* montre que les conidiophores, noir brunâtre, sont relativement assez volumineux (Figure 68c). Les conidies, des tubes cylindriques presque incolores avec des extrémités arrondies, ont des membranes très minces et deux à cinq cloisons (Figure 68d). Elles sont sensibles à la dessiccation et perdent leur capacité de germination après une ou deux semaines de sècheresse. Souvent, suite à une infection secondaire occasionnée par des bactéries, le champignon ne sporule plus.

16.2.9.7. *H. spiciferum*

Il a comme forme parfaite *Cochliobolus spicifer* et attaque parfois le blé, l’orge, le riz et d’autres espèces apparentées. Pourtant il a été reporté comme un sérieux agent pathogène pour d’autres espèces céréalières. Généralement, il produit des pourritures, de faible importance, sur les pieds du blé. Toutefois, il engendre des taches brunes grisâtres de formes irrégulières prolongeant les feuilles, en longueur et en largeur, du blé dur, du blé tendre et de l’orge (Figure 69a). Ce champignon est facilement identifiable par son mycélium superficiel

ramifié (Figure 69b) et ses conidies spécifiques (Figure 69c). L'importance économique de cette maladie sur les céréales est faible.

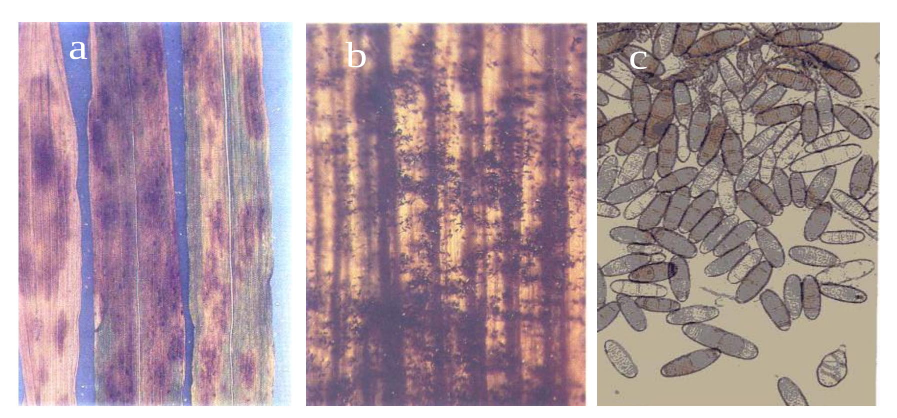


Figure 69. *Helminthosporium spiciferum* sur orge avec **a**: Symptômes typiques; **b**: Sporulation; **c:** Conidies.

16.3. Dégâts d'origine bactérienne

16.3.1. Taches bactériennes des feuilles

Elles sont dues à l'infection par *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae*. Cette espèce bactérienne est reconnue comme un pathogène pour le maïs, le sorgho et le haricot. Récemment, elle est répertoriée sur des céréales cultivées notamment, le blé dur, le blé tendre, l'orge, le triticale, l'avoine et d'autres graminées sauvages. Elle a été repérée pour la première fois en Tunisie en 1983. Les symptômes débutent par l'apparition de petites taches brunes sur les feuilles les plus élevées de la plante, particulièrement la feuille drapeau. Par la suite, elles s'étendent et deviennent marron blanchâtre (Figure 70a). Des suintements jaunes visqueux couvrent les feuilles atteintes. Suite à leur dessèchement, une pellicule jaune luisante apparaît sur ces dernières.



Figure 70. Taches bactériennes sur une culture d'orge (*Pseudomonas syringae* pv. *Syringae*) avec **a**: Taches typiques de *P. syringae* sur une feuille; **b**: Plant sévèrement infecté; **c et d**: Symptômes de *P. syringae* sur des épis; **e**: Semences d'orge contaminées.

Les bactéries envahissent tout le plant et les feuilles se dessèchent (Figure 70b). Même avant leur apparition des dernières feuilles, les épis contaminés sont partiellement ou totalement stériles et peuvent être couverts par le suintement bactérien jaunâtre (Figures 70c et 70d). La dissémination de la bactérie est favorisée par l'éclaboussement des gouttes d'eau de pluie et de l'irrigation par aspersion. Elle peut se transmettre par les semences contaminées (Figure 70e), le vent et les insectes piqueurs suceurs tels que les pucerons. L'infection est favorisée par des températures clémentes et une hygrométrie relative élevée. Certaines variétés de blé sont tolérantes à cette maladie.

16.3.2. Taches noires des feuilles et des glumes

C'est la maladie bactérienne, dont l'agent causal est *Xanthomonas campestris* pv. *Translucens*, la plus commune des céréales, notamment, le blé, l'orge, le seigle, le triticale et d'autres graminées. Elle se transmet par les semences et les débris végétaux de la culture précédente. Sa dissémination est favorisée par l'éclaboussement des gouttes d'eau de pluie et par l'irrigation par aspersion.

Généralement, l'infection se développe sur les feuilles, les tiges, les pédoncules, les glumes et les glumelles. Sous une infection sévère, les grains contaminés ont un aspect déformé. Les premiers symptômes apparaissent comme étant de petites lésions ou rayures humides de couleur brun clair qui se développent, dans un sens longitudinal, entre les nervures foliaires (Figure 71a).

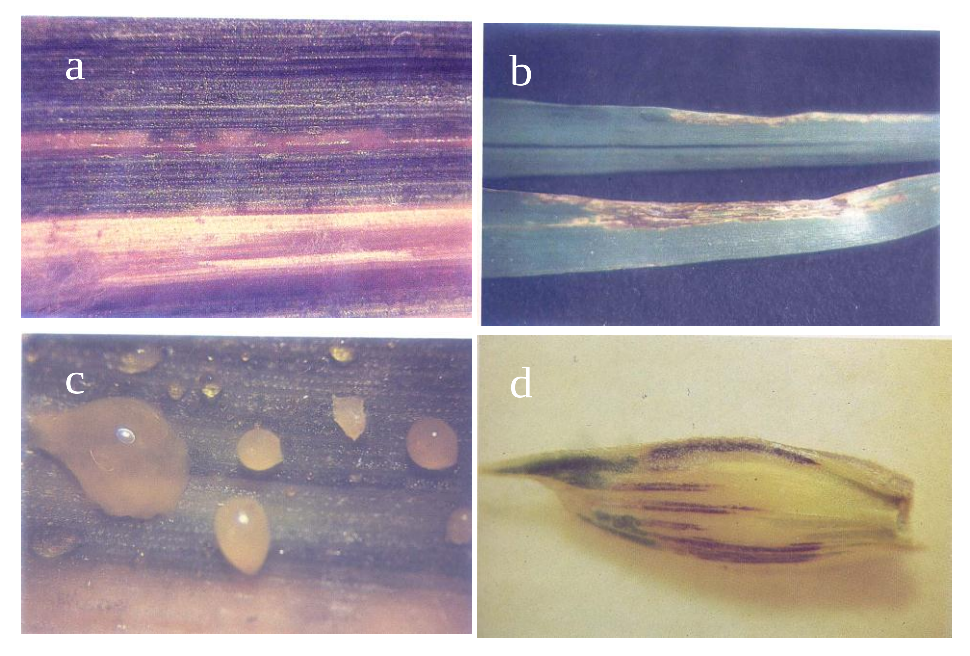


Figure 71. Maladie des taches noires des feuilles et des glumes avec **a**: Lésions entre les nervures; **b**: Taches irrégulières; **c**: Exsudats bactériens; **d**: Lésions sur les glumes.

Les lésions s'étendent et fusionnent pour former des taches brunes grises de formes irrégulières (Figure 71b). Des gouttelettes d'exsudats jaunâtres se déposent le long des lésions (Figure 71c). Le dessèchement de cet exsudat délaisse, sur la surface des organes contaminés, de petites granules jaunâtres et une pellicule mince et brillante. Sous les conditions d'une humidité élevée, la maladie progresse, de proche en proche, vers les gaines foliaires, les tiges et les épis sur lesquels des lésions foncées sont produites (Figure 71d). Les talles manquent de résistance et finissent par se dessécher et s'affaisser. Au niveau des épis, la rayure noire est facilement identifiée par la formation des stries linéaires foncées et humides sur les pédoncules, les glumes et les glumelles (Figure 71d).

16.3.3. Galle bactérienne de l'épi

C'est une maladie bactérienne du blé engendrée par *Corynebacterium tritici* qui sévit en Afrique du Nord, en Asie et en Australie. Elle est dite aussi pourriture jaune de l'épi. Généralement, elle est associée au nématode de galles « *Anguina tritici*». Les épis émergent des gaines foliaires couvertes d'une masse d'exsudat bactérien jaunâtre collant. Après dessèchement, cet exsudat forme une pellicule mince et luisante sur les feuilles et les épis tordus qui produisent peu ou pas de grains viables (Figure 72a). Si le nématode de galles est associé à la maladie bactérienne de l'épi, les grains de blé sont remplacés par une masse poudreuse qui contient les larves du nématode (Figure 72b). La maladie est dispersée à partir des grains contaminés ou bien à partir des larves d'*Anguina tritici* endormis et relâchées dans le sol suite à la rupture des galles (Figure 72c).

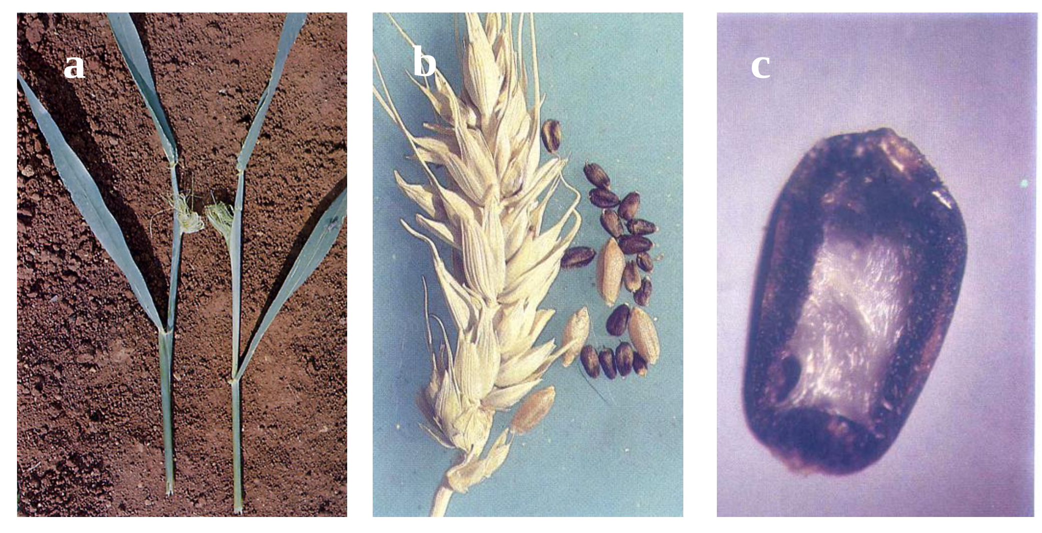


Figure 72. Galle bactérienne de l'épi (*Corynebacterium tritici*) avec **a**: Epis et feuilles tordus; **b**: Comparaison de grains contaminés par *C. tritici* et grains sains; **c**: Galle contenant des larves du nématode *Anguina tritici* en état de dormance.

16.4. Dégâts d'origine virale

16.4.1. Maladies virales transmises par les pucerons

16.4.1.1. Jaunisse nanissante de l'orge:(BYDV)

C'est une maladie virale, dénommé par les Anglo-saxons Barley yellow dwarf virus (BYDV), largement répandue à travers le monde, en l'occurrence dans les pays Européens, l'Australie, les Etat Unis et le Moyen et l'Extrême Orient. Elle occasionne d'importantes pertes de rendement chez les céréales, notamment, le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le triticale et plus de 100 autres monocotylédones.

Les symptômes produits par BYDV peuvent être confondus avec ceux occasionnés par d'autres maladies virales, des carences nutritionnelles et des conditions défavorables de croissance. Généralement, l'infection apparaît dans les cultures de faibles densités de semis sur les feuilles âgées qui prennent une coloration jaune brillant de leurs extrémités vers leurs bases (Figure 73a). Chez certaines espèces, telles que l'orge et l'avoine, les extrémités des feuilles deviennent rougeâtre et s'enroulent vers le haut (Figure 73b). Les nervures gardent une teinte verdâtre (Figure 73c).

Sous une infection sévère et précoce, les feuilles se dessèchent et les plants deviennent nains et dépourvus d'épis. Le nombre de grains fertiles et le poids de 1 000 grains sont fortement réduits. Les pertes du rendement, qui peuvent atteindre 100 %, varient selon les conditions climatiques, le génotype et la souche virale.

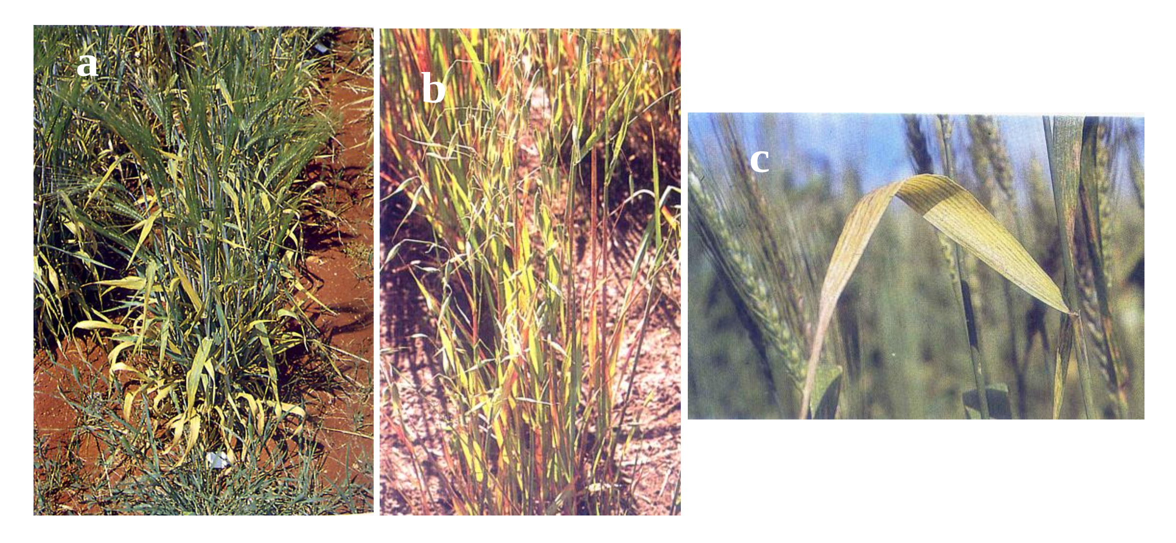


Figure 73. Infection par la Jaunisse nanissante de l'orge (BYDV) avec **a**: sur blé; **b**: sur avoine; **c:** sur des feuilles âgées.

La dissémination du BYDV peut être assurée par plus de 20 espèces de pucerons (Figure 74) et non pas ni par les semences ni par le sol. La lutte contre les pucerons permet d'éviter l'infection. Toutefois, certains génotypes de céréales sont résistants au BYDV.

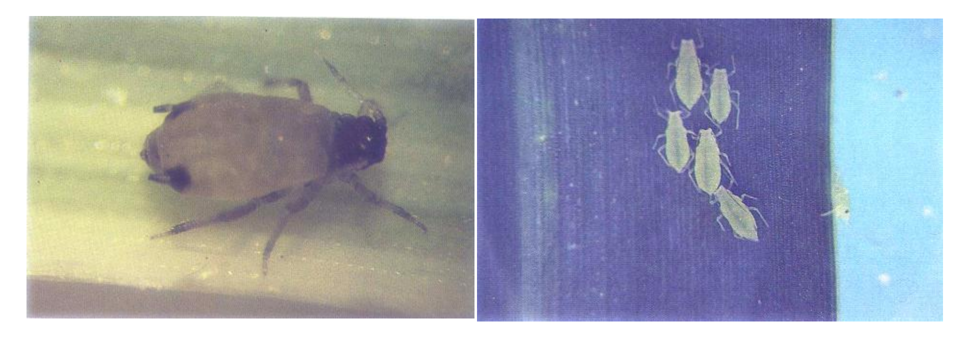


Figure 74. Deux espèces de pucerons vecteurs du BYDV (Barley yellow dwarf virus).

16.4.1.2. Free State Streak virus (FSSV)

Cette maladie virale, transmise par les pucerons, attaque le blé, l'orge, le triticale, le seigle, l'avoine et d'autres graminées. Elle est assez fréquente au Moyen Orient, au Mexique, en Afrique du Sud et en Afrique du Nord. Les pertes de rendement occasionnées par ce virus sont relativement faibles.

Les feuilles des plants contaminés sont parcheminées par des stries jaunes pâles séparées par des espaces rouge pâle ou pourpre (Figure 75a). Les feuilles supérieures sont enroulées sur elles mêmes et abritent des espèces de pucerons (Figure 75b) dénommées *Diuraphis noxia* (Figure 75c et 75d) et *Diuraphis mexicana* qui sont les vecteurs du virus de la maladie «Free State Streak». Les épis sont de couleur jaune pâle, chétifs, mal formés et stériles (Figure 75e). Les grains formés ne sont pas viables.

La lutte contre les pucerons permet de prémunir les cultures céréalières contre cette maladie virale. Certains génotypes de céréales sont pourvus d'une tolérance au FSSV.

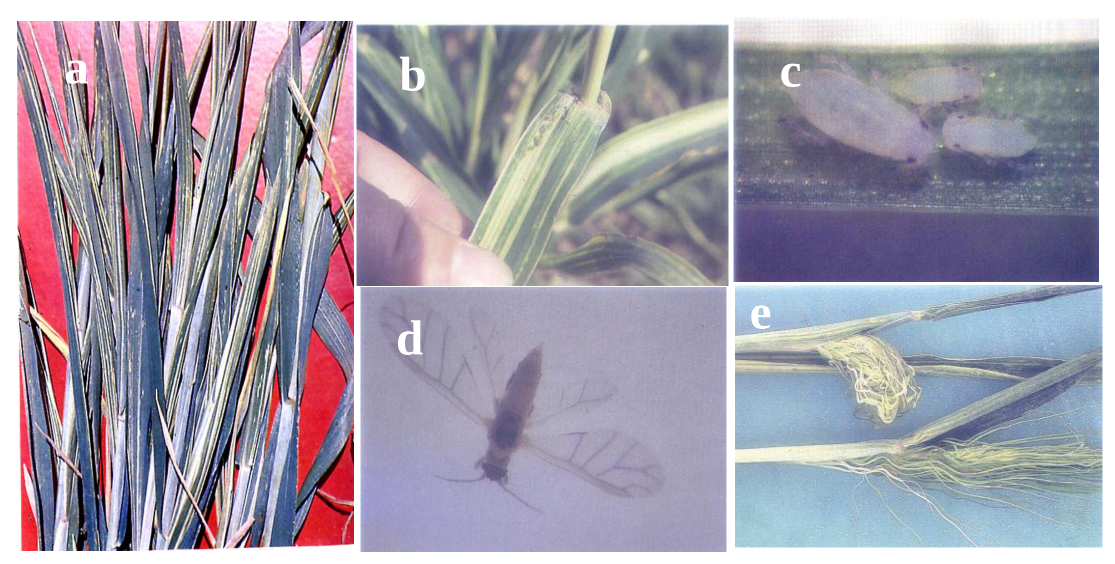


Figure 75. Free State Streak virus (FSSV) avec **a**: Symptômes caractéristiques dû au FSSV sur les feuilles; **b:** Feuille enroulée abrite des pucerons; **c:** Pucerons **(***Diuraphis noxia*) au stade jeune; **d:** Puceron **(***Diuraphis noxia*) au stade aillé; **e:** Symptômes caractéristiques dû au «FSSV» sur les épis.

16.4.2. Maladies virales transmises par les mites

On a énuméré au moins trois maladies virales des céréales transmises par les mites à savoir: les spots mosaïques du blé, la mosaïque striée du blé et la mosaïque du chiendent et du ray gras. Les dégâts occasionnés par ces maladies sont plus graves sur le blé que sur l’orge.

16.4.2.1. Spots Mosaïques du blé

Cette maladie virale, dite Wheat Spot Mosaic Virus (WSMV), est également transmise par le mit *Aceria tulipae* (Figure 76). Les symptômes primaires sont des taches caractéristiques vert clair qui s’élargissent, à partir de la pointe des feuilles, sous la forme de zones jaunes nécrotiques (Figure 77a). Les pertes de rendement occasionnées par cette maladie sont économiquement faibles.

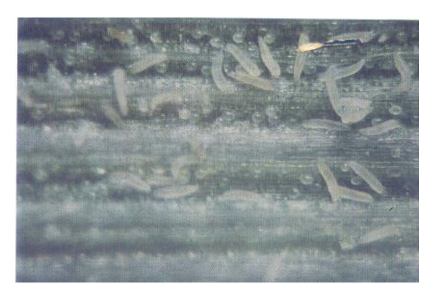


Figure 76. Le mite *Aceria tulipae* vecteur de nombreux virus agents causals de la marbrure du blé.

16.4.2.2. Mosaïque striée du blé

La mosaïque striée du blé ou Wheat Streak Mosaic Virus (WSt.MV), est une très importante maladie virale du blé qui est largement distribuée à travers le monde. Elle affecte également, le maïs, le seigle, l’avoine ainsi que d’autres graminées. Ce virus a été, rarement, trouvé sur l’orge. Le mit *Aceria tulipae* est le vecteur de l'enroulement du blé. Les plants infectés développent des stries jaunes mouchetées (figure 77b). Un arrêt de croissance très accentué est remarqué sur les plants infectés dés leur jeune âge.

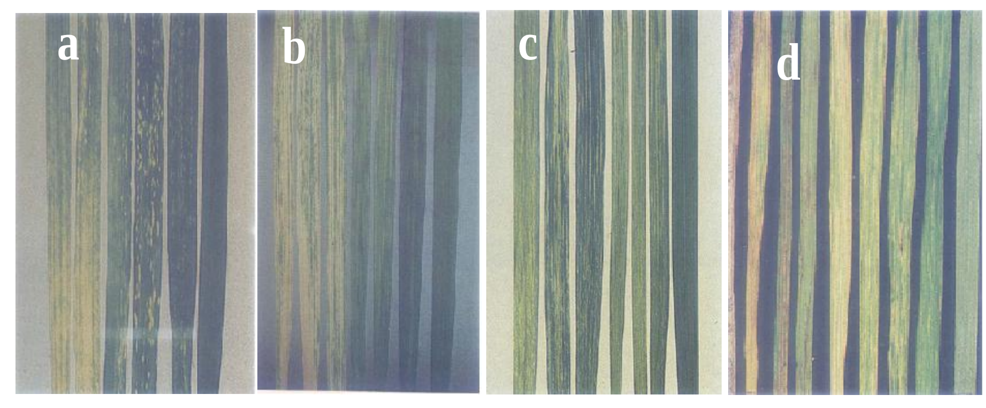


Figure 77. Types de virus transmis par les mites avec a: Spots Mosaïques du blé (Wheat Spot Mosaic); b: Mosaïque striée du blé (Wheat Streak Mosaic Virus); c: Mosaïque du chiendent (Agropyron Mosaic); d: Mosaïque du ray gras (Rye gras Mosaic Viruses). .

16.4.2.3. Mosaïque du chiendent et Mosaïque du ray gras

Ces deux maladies virales, dénommées par les Anglo-saxons Agropyron Mosaic et Rye gras Mosaic Viruses, sont transmises par le mit *Abacarus hystrix*. L'hôte primaire est le ray gras; alors que les céréales sont rarement contaminées. Une marbrure verte jaunâtre et des stries jaunâtres étroites se développent sur les feuilles des plants de blé et de l'orge infectés (Figure 77c). L'avoine est sensible à la mosaïque du ray gras (Figure 77d) et non pas à la mosaïque du cheiendent.

16.4.3. Maladies virales transmises par le sol

Deux maladies virales transmises par le sol, largement répandues à travers le monde, sont la mosaïque du blé et la mosaïque rayée en fuseau du blé. Elles sont transmises par le champignon tellurique *Polymyxa graminis*, dont la prolifération est particulièrement dans les sols lourds et humides.

Des nématodes et d'autres micro-organismes telluriques sont des vecteurs de certains virus. Le blé, l'orge et le seigle sont des hôtes communs de ces maladies. L'avoine semble résistante ou bien ne montre pas de symptômes typiques de ces maladies d'origine virale. Ces maladies tendent à se disséminer lentement et à apparaître tous les ans dans les mêmes aires de cultures des céréales.

Le contrôle des vecteurs de ces maladies est très difficile. Toutefois, la fumigation du sol parait efficace mais non économique pour les cultures céréalières.

16.4.3.1. Mosaïque du blé

Cette maladie, dite en Anglo-saxon Wheat soil-born mosaic, occasionne de sérieuses pertes de rendement en grains du blé, de l'orge et du seigle. Les plants malades arrêtent leur croissance. Des stries chlorotiques parallèles sont formées entre les nervures des feuilles (Figure 78a).

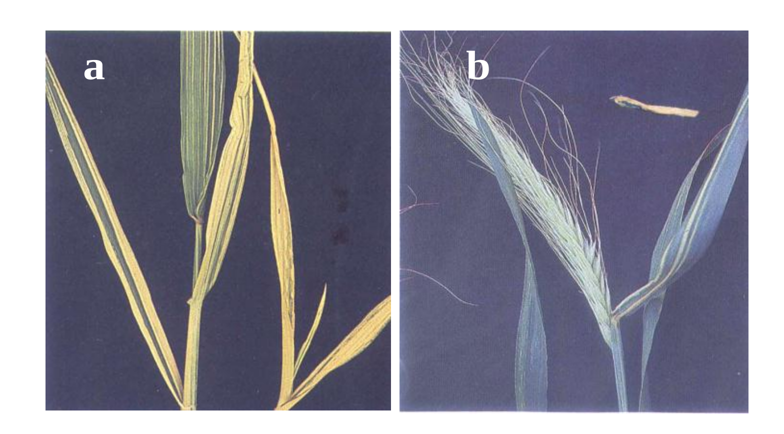


Figure 78. Symptômes caractéristiques de la Mosaïque du blé (Wheat soil born mosaic) avec **a**: stries chlorotiques parallèles entre les nervures des feuilles; **b**: sur épi qui est tordu et stérile.

Les génotypes sensibles contaminés au stade juvénile développent des mosaïques en « rosette ». Les épis font défaut ou sont stériles (Figure 78b). Pour le blé, la production de variétés résistantes parait indispensable.

16.4.3.2. Mosaïque rayée en fuseau du blé

Cette maladie est dénommée par les Anglo-saxons Wheat Spindle Streak Mosaic. Les plants malades développent des symptômes distincts (figure 79) durant les saisons froides. Ils tendent à reprendre leur croissance avec l'arrivée de la belle saison.

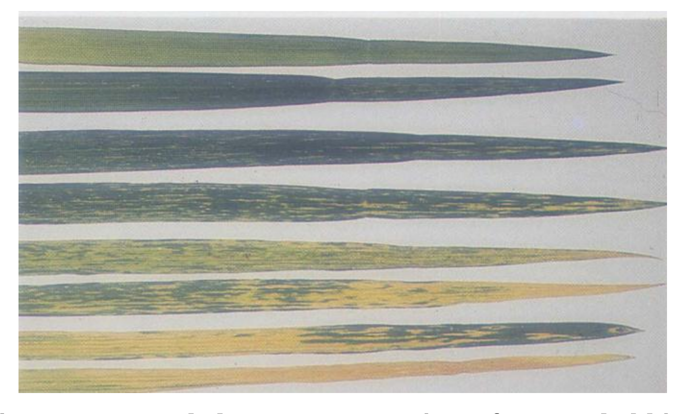


Figure 79. Symptômes typiques de la Mosaïque rayée en fuseaux du blé (Wheat Spindle Streak Mosaic) sur des feuilles de blé.

16.4.4. Maladies virales transmises par les semences

16.4.4.1. Mosaïque virale Rayée de l'Orge

La Mosaïque virale Rayée de l'Orge, largement distribuée à travers le monde surtout dans les zones de culture du blé et de l'orge, est occasionnée par le virus Barley Stripe Mosaic Virus (BSMV). Ce dernier peut attaquer le blé, l'avoine, le maïs et d'autres graminées. Cette maladie est épidémique et se dissémine par les semences, les grains de pollen et le frottement des plants contaminés contre les plants sains.

Les symptômes primaires produits par BSMV sur le feuillage rappellent ceux occasionnés par *Helminthosporium gramineum*. Ils sont des stries jaune verdâtre ou brun clair qui partent de la base des feuilles vers leurs extrémités (Figure 80a). Suite au développement de l'infection, on note que les nécroses tendent à tracer un "V" ou "W" à travers la feuille infectée (Figure 80b). Les plants issus des semences contaminées apparaissent nains (Figure 80c).

Les fleurs des plants infectés sont stériles. L'importance économique de cette maladie est négligeable surtout si la contamination a eu lieu après l'épiaison. La lutte contre le BSMV est basée essentiellement sur l'utilisation des semences saines et l'élimination et l'incinération des plants contaminées dés leur jeune âge.

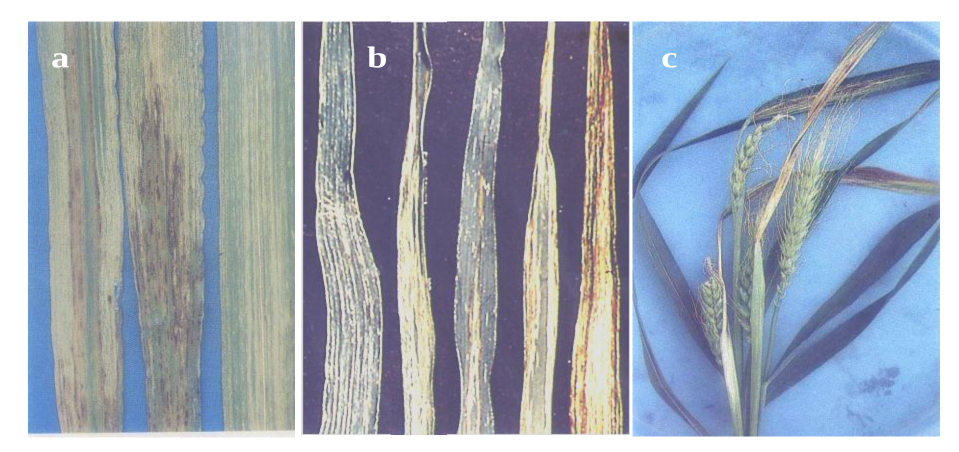


Figure 80. Symptômes typiques occasionnés par le virus de la Mosaïque Rayée de l'Orge (Barley Stripe Mosaic Virus) (BSMV) avec **a:** Nécroses primaires sur feuille; **b:** Nécroses assez développées sur feuille **c:** Plant de blé fortement contaminé.

16.4.4.2. Mosaïque virale de l'orge

La mosaïque virale de l'orge est une maladie rare, généralement transmise à l'orge, au blé et à l'avoine par le puceron *Rhopalosiphum maidis*, les semences et même par voie mécanique. Le mode transmission par les semences varie de 2 à 45 % Les semences infectées paraissent ratatinées et plus petites que les semences saines avec un taux de germination relativement faible. Les plants contaminés sont nains avec des feuilles chlorosées. Plus tard dans la saison, les symptômes typiques du BMV se développent sur les feuilles. Certains cultivars d'orge montrent un degré de résistance élevé à cette maladie.

16.5. Maladies non infectieuses

Parfois, les cultures céréalières présentent des malformations, telles que des spots, des taches nécrotiques ou chlorotiques, provoquées par des maladies non infectieuses. Ces anomalies peuvent être d'ordre physiologiques, génétique ou dues à des stress abiotiques. Les espèces et les génotypes céréaliers diffèrent largement selon l'expression des formes et des aspects physiques des anomalies occasionnées.

16.5.1. Désordres physiologiques

16.5.1.1 -Anomalies génétiques

Des stries chlorotiques (Figure 81a), des taches nécrotiques (Figure 81b) et des taches brun pourpre régulièrement parsemées (Figure 81c) sur les feuilles de certains hybrides de blé et de triticale résultent d'une instabilité chromosomique ou des combinaisons génétiques. Ces désordres sont habituellement observés dans les premières générations du programme de sélection variétal.



Figure 81. Désordres physiologiques avec **a**: Stries chlorotiques sur feuilles; **b**: Taches nécrotiques sur feuilles de blé et de triticale; **c**: Taches brunes pourpres sur feuilles de triticale.

16.5.1.2. Pigmentation brun foncée

Sous certaines conditions climatiques, une pigmentation brun foncée se développe sur les glumes et les pédoncules des épillets (Figure 82). Ces symptômes peuvent être confondus avec ceux produits par la bactérie *Xantomonas translucens* ou par le champignon *Septoria nodorum*



Figure 82. Pigmentation brune foncée sur les glumes et les pédoncules des épillets.

16.5.1.3 -Rachis fragiles

Certains génotypes de triticale ont tendance d'émettre un nombre élevé de plants dont les **rachis sont fragiles**. Les épis et les épillets s'éclatent avant la maturité et la récolte (Figure 83).



Figure 83. Rachis fragile et épis et épillets de triticale éclatés avant la récolte.

16.5.1.4. Germination sur épi

Avant la maturité complète et la récolte, la germination sur l'épi est une anomalie génétique (Figure 84). La solution plus efficace pour remédier à ce problème génétique est limitée à l'ajournement de l'épuration variétale de 10 jours ou de 2 semaines après la maturité variétale.



Figure 84. Germination sur épi avant la maturité complète et la récolte.

16.5.1.5. Eclatement des épillets

L'éclatement des épillets est un problème génétique de l'avoine qui résulte à la production d'épillets vides (Figure 85). Le rapport nutritionnel (azote/phosphore) non équilibrés et les températures et l'humidité dans les sols élevés sont des facteurs favorables à cette anomalie.



Figure 85. Eclatement des épillets de l'avoine qui résulte à la production d'épillets vides.

16.5.2. Stress abiotiques

Les stress abiotiques peuvent être notamment, hydrique (Figure 86), thermique traduit par la gelée (Figures 87) et les hautes températures (Figures 88), nutritionnels (Figures 89 et 90). Comme ils peuvent être associés à la nature du sol tel qu'un mauvais drainage (Figures 91) ou une acidité élevée du sol (Figures 92), ou autres tels que les effets dépressifs de la chute de la grêle (Figure 93) des herbicides (Figure 94). Ils occasionnent des dégâts d'importances variables selon le type et l'intensité du stress abiotique sur les cultures céréalières.

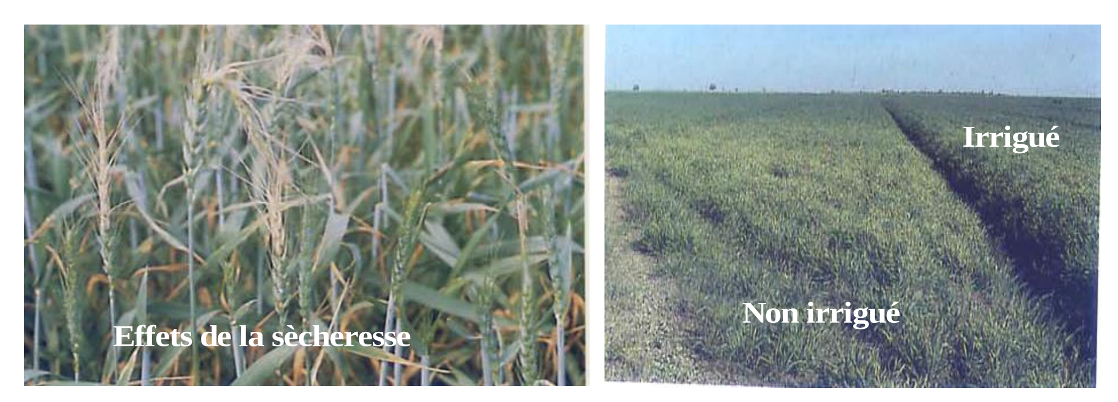


Figure 86. Effets du stress hydrique sur les cultures céréalières.



Figure 87. Effets de la gelée sur les cultures céréalières.



Figure 88. Effets des hautes températures sur les cultures céréalières.

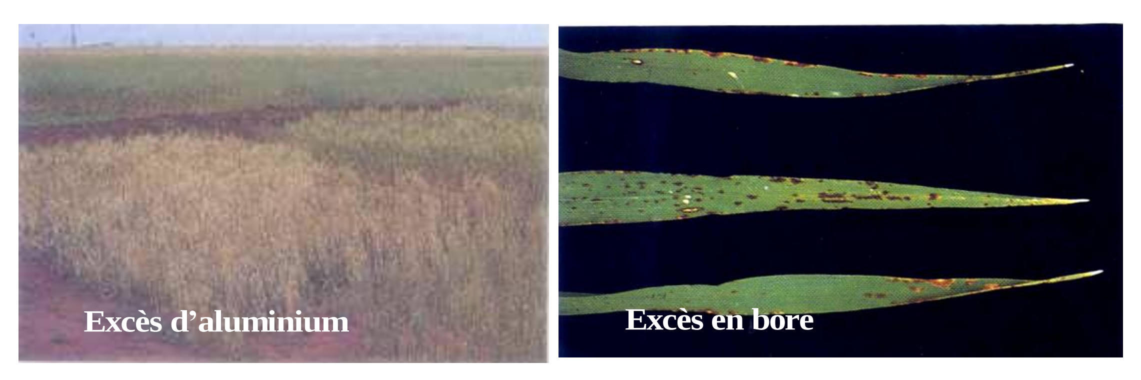


Figure 89. Effets des stress nutritionnels dus à un excès en aluminium et en bore.

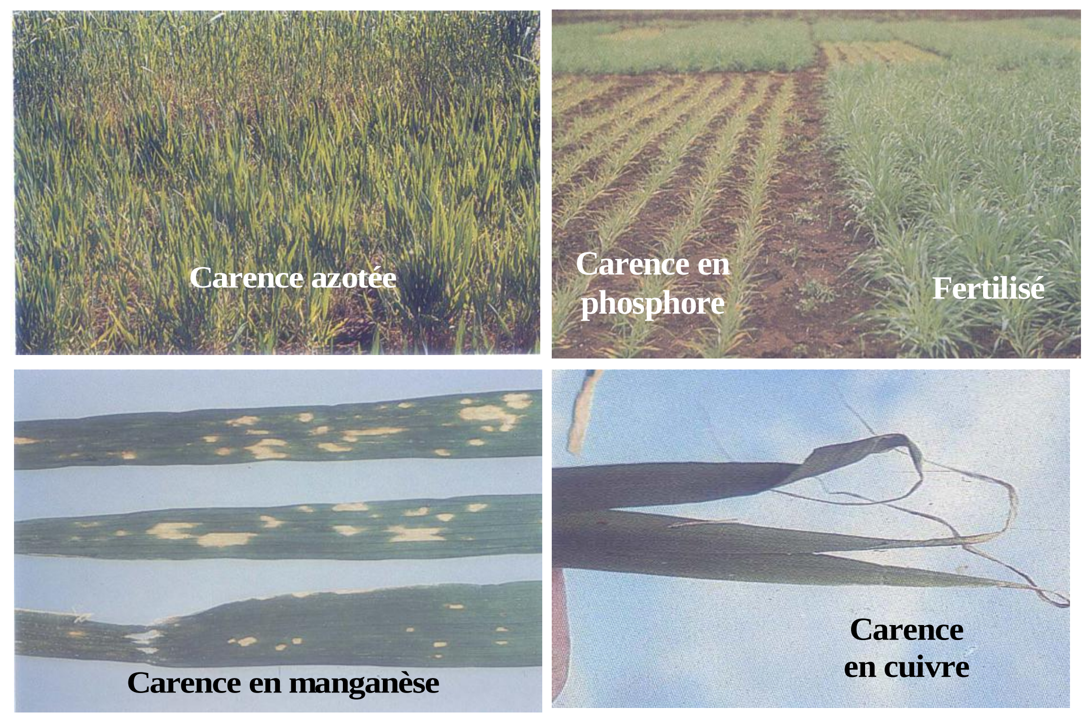


Figure 90. Effets des stress nutritionnels dus à une carence en azote, phosphore, manganèse et en cuivre.

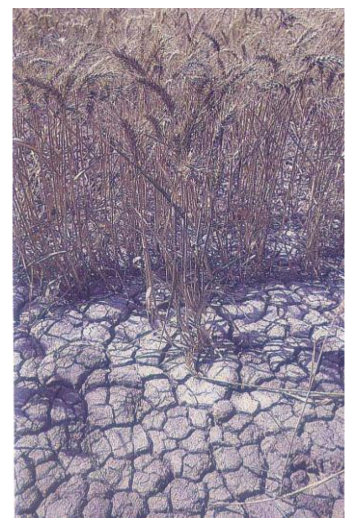


Figure 91. Stress lié au mauvais drainage occasionné par une texture fine

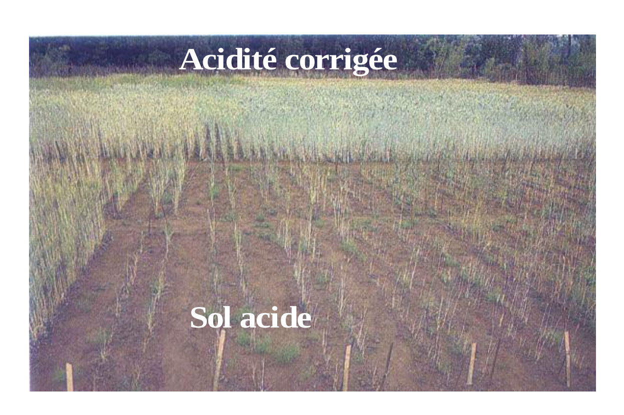


Figure 92. Stress liés à l'acidité élevée du sol qui pourrait être corrigée avec de la chaux. .



Figure 93. Effets de la chute de la grêle sur une culture de céréales.



Figure 94. Effets dépressifs d'un désherbage chimique non raisonné.

16.6. Dégâts dus à des nématodes

Les nématodes, des animaux microscopiques filiformes transparents (Figure 95), vivent dans le sol, dans l'eau, dans les plants et dans les débris végétaux. Ils sont reconnus comme parasites des cultures céréalières depuis plus de 300 ans. Néanmoins, leur capacité d'agir comme vecteur des virus a été découverte récemment. Les espèces qui attaquent les céréales occasionnent des dégâts mécaniques, des nodules, des galles et des déformations des parties aériennes des plants. L'agent causal des dégâts pourrait être identifié à partir des symptômes occasionnés sur les racines et les parties aériennes des plants endommagées. Les galles, les kystes et les nodules renferment un grand nombre d'œufs.



Figure 95. Spécimen de nématode.

Les nématodes affectent le rendement en quantité et en qualité. Ils agissent comme vecteurs des virus et permettent l'intrusion des bactéries et des champignons dans les tissus des plants par le biais des dégâts mécaniques qu'ils occasionnent.

Parmi les espèces de nématodes les plus agressives qui affectent les cultures céréalières, on pourrait énuméré: le nématode à galles des semences (*Anguina tritici*), le nématode à kystes de l'avoine (*Heterodera avenae*) et le nématode à nodules des racines (*Meloïdoyine artiellia*).

16.6.1. Nématode à galles des semences (*Anguina tritici*)

Anguina tritici attaque le blé, le seigle et le triticale. Avant l'épiaison, il occasionne la déformation des feuilles et le raccourcissement des talles. Au cours de la phase de maturité, les grains sont remplacés par des galles de couleur brune noirâtre difficiles à écraser (Figure 96).

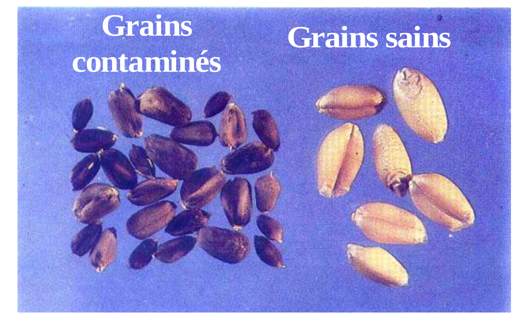


Figure 96. Nématode à galles des semences (*Anguina tritici*) sur blé.

La dispersion d'*A. tritici* est réalisée par les semences infectées. Suite à l'humectation des grains, les larves contenues dans les galles deviennent actives et mobiles.

16.6.2. Nématode à kystes de l'avoine (*Heterodera avenae*)

Heterodera avenae est largement distribué, à travers le monde, dans les zones de culture des céréales. Les graminées cultivées particulièrement l'avoine, le blé, l'orge, le seigle et les graminées sauvages ou fourragères telles que la fétuque et le ray-grass sont les principales plantes hôtes de *H. avenae* (Figure 97). Malgré les dégâts sévères observés sur le maïs, ce dernier ainsi que le sorgho sont des hôtes peu favorables au développement de cette espèce de nématode.

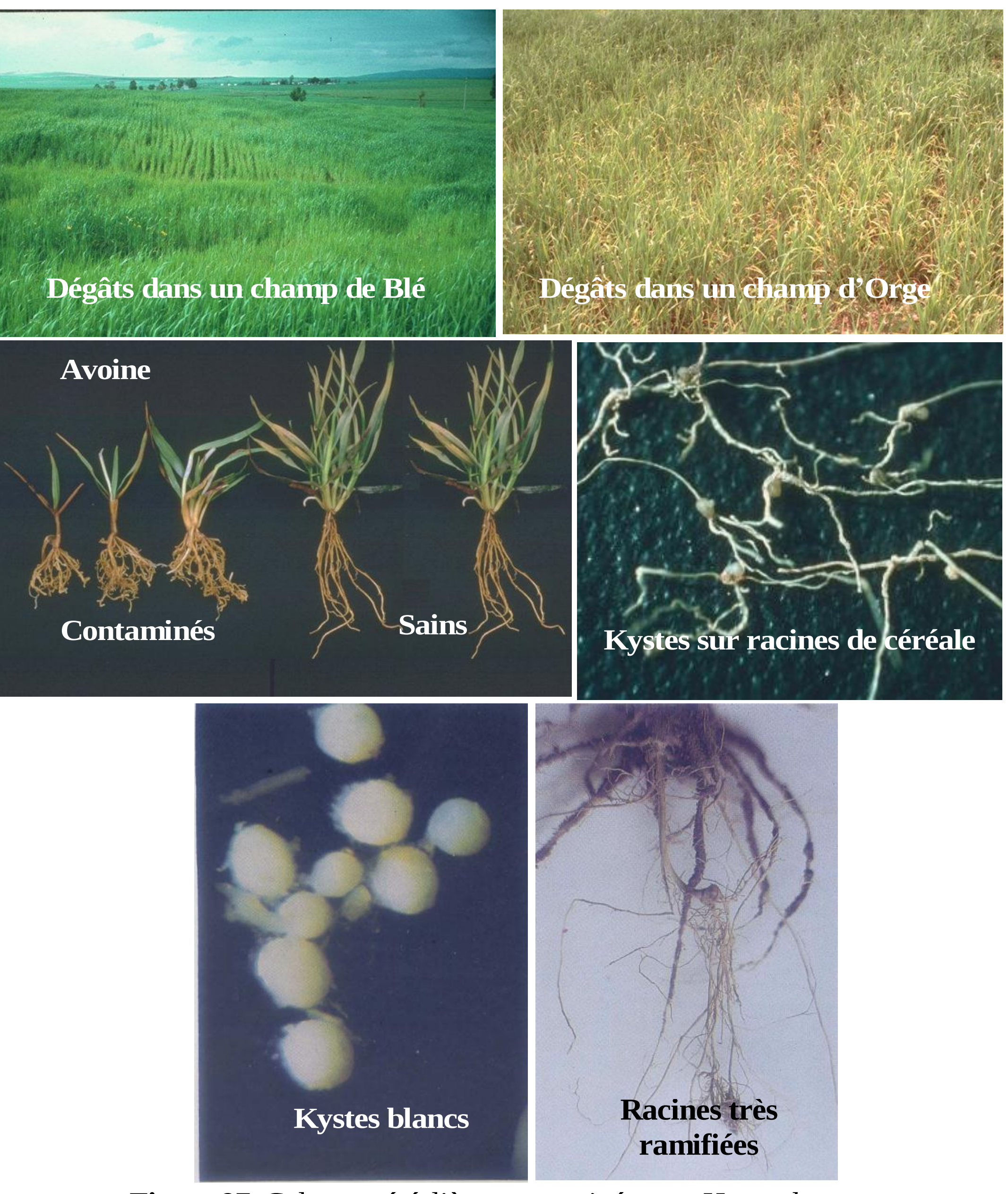


Figure 97. Cultures céréalières contaminées par *Heterodera avena*.

Les dégâts engendrés par ce nématode se manifestent dans les deux ou trois semaines qui suivent la levée de l'avoine. Les plants très infectés semblent alors arrêter subitement leur croissance. Leurs feuilles pâlissent et commencent à mourir depuis la pointe (Figure 97). Comme il n'y a pas de tallage, le peuplement est clairsemé et présente des plants rabougris qui portent peu de grains. Les racines des plants gravement atteints sont hypertrophiées, très ramifiées et souvent leur couleur est altérée (Figure 97). Elles sont jaune pâle sur les jeunes plants et deviennent brun jaunâtre en vieillissant; alors que celles des plants sains ont une couleur blanche franc.

Les femelles d'*H. avenae* sont caractérisées par la formation de sacs contenant un grand nombre d'œufs. Après leur mort, les parois des nématodes femelles se durcissent et deviennent très résistantes pour former des kystes (Figure 97) de couleur gris clair au début puis, en vieillissant, devient noir brunâtre. Ces kystes, qui protègent plusieurs centaines de larves juvéniles contre les conditions défavorables, se détachent des racines. Sous des conditions favorables, les larves sortent pour envahir les plantes hôtes au niveau de l'apex des racines. Certaines larves donneront des mâles tandis que d'autres deviendront des femelles.

Des travaux de recherche ont montré que le champignon *Verticillium clamidosporium*, très proliféré dans les sols Tunisiens, est un prédateur de l'espèce *Heterodera*. Toutefois, *H. avenae* a peu d'importance économique en Tunisie.

16.6.3. Nématode à nodules des racines (*Meloïdoyine spp*)

De nombreuses espèces végétales sont des plantes hôtes des nématodes à nodules des racines y compris les céréalières, telles que le blé, l'orge, le seigle et certaines dicotylédones. Quoique l'espèce *Meloïdoyine naasi* soit le plus commun à travers le mode, l'espèce *M. artiellia* est la plus répandues en Tunisie et se développe sur les céréales et les légumineuses. Les infections du nématode à nodules des racines sont reconnues par les petits nodules ou galles, incurvées ou tordues, développées aux extrémités des racines (Figure 98).



Figure 98. Symptômes d'attaque d'une culture céréalière par *Meloïdoyine naasi*.

Chaque nodule enveloppe une ou plusieurs femelles dans les tissus des racines. Chaque femelle génère d'innombrables œufs. En général, les *Meloïdoyine spp* envahissent les plants au printemps ou au début de l'été. Au champ, les plants infectés, ayant arrêté leur croissance, sont jaunis avec des racines très ramifiées (Figure 98).

16.6.4. *Pratylenchus*

Pratylenchus attaque de nombreuses espèces végétales. Il est très répandu dans les sols Tunisiens et particulièrement dans les régions de cultures céréalières. Son cycle biologique coïncide avec celui des espèces céréalières. Les semences ainsi que les restes des cultures céréalières contaminées assurent sa survie dans le sol à l'état larvaire. Durant la période estivale, les larves entrent en état de dormance et supportent les hautes températures. Suite aux précipitations automnales, elles s'activent et gagnent le système racinaire des nouveaux semis où elles se multiplient intensément et finissent par le détruire. L'action parasitaire du *Pratylenchus* est conjuguée à celle de certains champignons saprophytes. Les dégâts occasionnés sont importants et peuvent atteindre 50 %.

Les nématicides et la fumigation, ayant montré leur efficacité dans le contrôle de la majorité des espèces de nématodes, sont rarement économiques pour les cultures céréalières. Toutefois, la technique la plus rentable pour le contrôle des nématodes reste la prévention avec l'utilisation de semences saines, la rotation des cultures et l'introduction des espèces céréalières résistantes.

16.7. Dégâts du à des insectes

Parmi les plus importants ravageurs des céréales on site:

16.7.1. Cécidomyie (*Maytiola destructor*)

La cécidomyie, appelée aussi mouche de Hesse, est très répandue en Amérique, en Europe, en Asie, au Moyen Orient et en Afrique du Nord. Cet insecte attaque le blé, l'orge et le seigle. En Tunisie, une étude a montré que les dégâts occasionnés par la Cécidomyie sont plus graves sur l'orge que sur le blé. Les larves minent les plants au niveau du collet (Figure 99a) et se nourrissent à partir de la sève écoulée.

Les plants sévèrement attaqués se caractérisent par la destruction des tissus de la tige qui fléchit. Les feuilles, de couleur verte bleuâtre, sont plus larges et finissent par se dessécher. Les talles arrêtent leur croissance (Figure 99b). Les grains produits sont chétifs et ont un poids de 1 000 grains faible.

L'infection est assez grave durant les années pluvieuses avec des températures clémentes. Au stade «pupe» (Figure 99c), l'insecte résiste à la sècheresse de l'été et au froid de l'hiver. Une hygrométrie élevée et des températures inférieures à 38 °C sont nécessaires

pour l'éclosion des pupes et la sortie de l'insecte adulte. Les œufs pondus, au printemps, sont disposés en lignes sur les nervures foliaires. En cas d'une forte attaque, les pertes du rendement sont économiquement importantes.

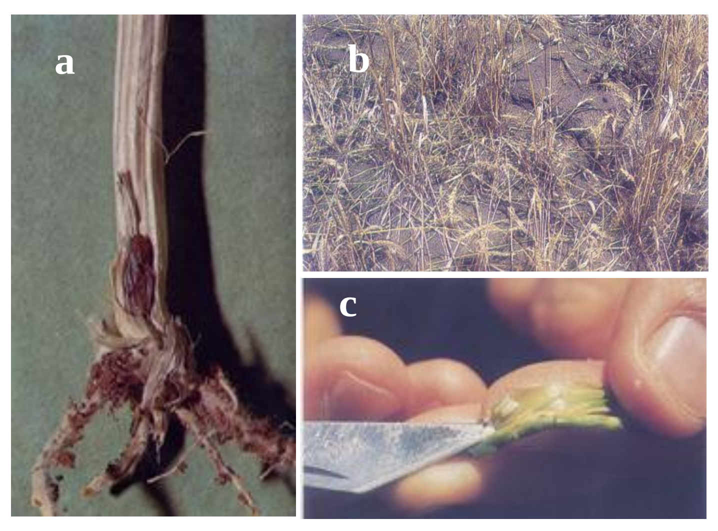


Figure 99. Dégâts occasionnés par la mouche de Hesse ou Cécidomyie avec **a**: attaque du collet d'un plant par les larves; **b**: Dégâts sur une culture céréalière; **c**: Pupes de la mouche de hesse.

La population du cécidomyie pourrait être fortement réduite grâce au labour effectué après la moisson et la solarisation du sol. D'autres alternatives telles que l'utilisation de variétés résistantes et le traitement des semences avant le semis prémunissent les futures cultures contre ce ravageur.

16.7.2. Criocères des céréales (*Oulema melanopus*)

C'est un petit coléoptère allongé de couleur bleu métallique à pattes et à thorax jaune orangé et à tête noire. Il est répandu dans les zones de culture du blé, de l'orge et de de l'avoine. Entre les nervures foliaires, on observe des bandes claires du tissu dépourvues de parenchyme (Figure 100a).

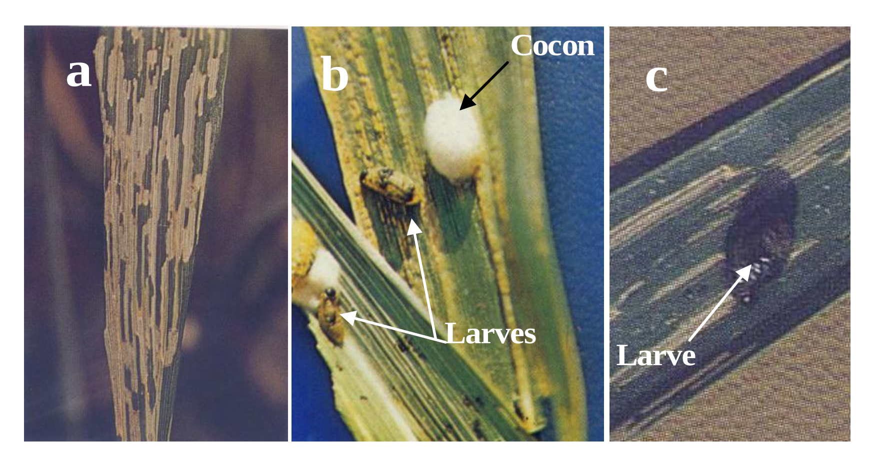


Figure 100. Criocères des céréales (*Oulema melanopus*) avec **a:** Tissu foliaire endommagé; **b:** Larve sans couche muqueuse et cocon; **c:** Larve couverte une couche muqueuse bleu noir.

Les dégâts sont occasionnés par les larves de couleur jaune clair (Figure 100b) recouvertes par une couche muqueuse de couleur bleu métallique (Figure 100c).

16.7.3. Mouche jaune (Opomyza florum)

La mouche jaune attaque toutes les espèces céréalières et présente une seule génération par an. Toutefois, son incidence sur le rendement est négligeable. Du fait que les larves ne se déplacent pas, les attaques sont par foyers et les dégâts sont limités à la destruction de quelques talles, notamment, les maîtres brins. Le symptôme typique de l'attaque par cette espèce de mouche est le jaunissement de l'extrémité de la dernière feuille ou feuille drapeau lors de sa sortie de la gaine de la feuille précédente (Figure 101a). Les semis précoces sont les plus touchés étant donné qu'ils coïncident avec la période de ponte. Les oeufs pondus en mois d'octobre sur le sol au voisinage des plantules de céréales éclosent à la fin de l'hiver. Au début du printemps, les larves pénètrent entre les feuilles supérieures et creuse une galerie en spirale pour ronger la région centrale de la pousse et finissent par tuer le maître brin qui devient marron (Figure 101b). Lorsqu'on tire dessus, la tige se casse facilement. La dissection de la tige à côté du tissu nécrosé révèle une larve blanc-nacré de 2 à 8 mm de long (Figure 101c). La nymphose a lieu à partir de fin avril. L'adulte est une petite mouche entièrement jaune de 3 à 3,5 mm de long. Au stade adulte, la larve est un asticot blanchâtre de 7 à 8 mm de long.

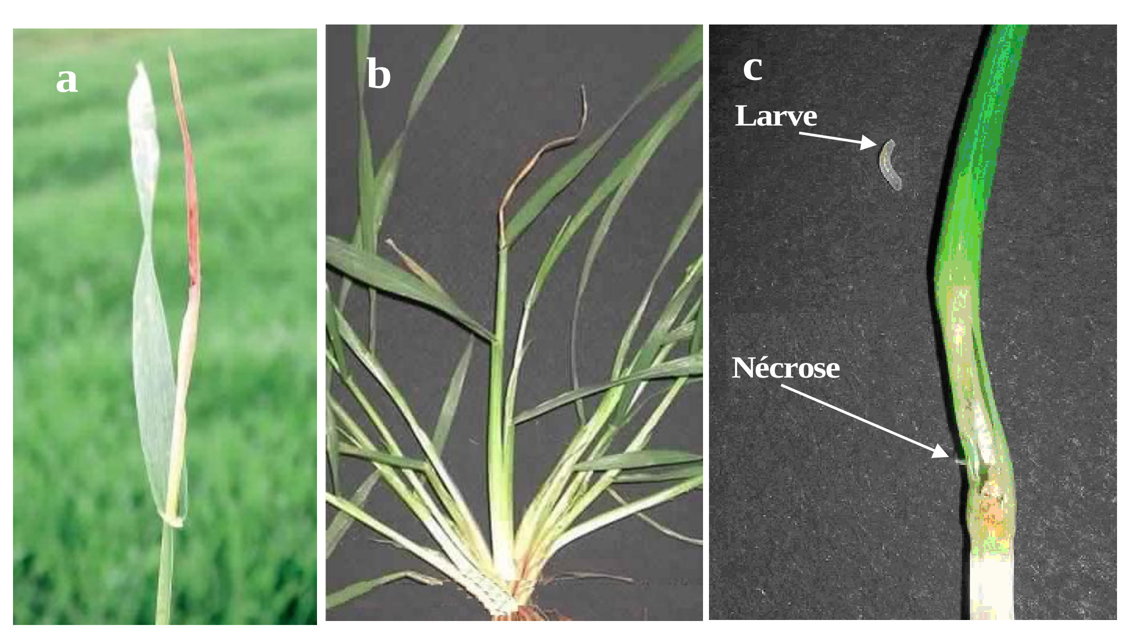


Figure 101. Dégâts occasionnés par la mouche jaune sur un plant de céréale avec **a**: attaque de la feuille drapeau; **b**: attaque du maître brin; **c**: nécrose sur tige.

16.7.4. Hanneton ou ver blanc (Rhizotrogus aestivus)

Les larves du hanneton, de 20 à 45 mm de long, sont souvent appelés appelées « vers blancs » (Figure 102). Ces derniers représentent principalement trois espèces de coléoptères à savoir: le hanneton commun, le hanneton européen et le scarabée japonais (Figure 103).



Figure 102. Larves du ver blanc.



Figure 103. Trois espèces de hanneton au stade adulte: hanneton européen, hanneton commun et scarabée japonais.

La longueur du cycle de vie du hanneton est variable selon l'espèce. Elle varie d'un an pour le hanneton européen et du scarabée japonais à 3 ans pour le hanneton commun. La ponte a lieu en mois de mai/juin. Après leur descente dans le sol, les larves remontent à la surface dès que les températures deviennent favorables, soit en avril/mai pour redescendre de nouveau à l'automne.

Les hannetons sont très nuisibles sur les céréales à pailles telles que le maïs et d'autres espèces horticoles etc…Ils se nourrissent sur les racines des cultures qui seront complètement détruites. Le couvert végétal serait totalement desséché. Vu que les larves ne se déplacent pas, les dégâts occasionnés sont par zones ou plages (Figure 104).

L'importance des dégâts, surtout à la fin du printemps, est tributaire, en grande partie, des conditions climatiques. Les dégâts sont aussi importants que l'été de l'année des vols est sec. Le seuil de nuisibilité varie selon la vigueur et l'état hydrique de la culture et du niveau de fertilité du sol.



Figure 104. Dégâts occasionnés par le ver blanc sur des cultures céréalières. .

Plusieurs techniques de lutte contre ce ravageur ont été adoptées, à savoir:

⇒ Techniques culturales

Vu qu'elles sont mal protégées, les larves du vers blanc sont très sensibles aux chocs et à la déshydratation. Durant la période de sècheresse elles descendent en profondeur; alors que pendant la période humide, elles se tiennent dans la couche superficielle du sol. Il serait donc utile de réaliser un labour profond et un ou plusieurs passages avec des outils rotatifs ou à dents.

⇒ Lutte biologique

Les prédateurs naturels et les auxiliaires comme les oiseaux, les hérissons, les taupes, les volailles, les carabes, les staphylins et les fourmies dévorent des larves du hanneton. D'autres insectes parasitoïdes tels que les guêpes (*Tiphia*) et les mouches (*Hyperecteina*) aident à contrôler les populations de hanneton avec un taux de parasitisme pouvant atteindre 75 %. Des bactéries, des nématodes et des champignons contaminent les larves du vers blanc.

Certaines spécialités commerciales à base de nématodes entomopathogènes (*Heterorhabditis bacteriophora*) parasitent et tuent les larves de hanneton et du charançon (*Otiorhynque*). Mais les conditions de leur application sont très compliquées. Le sol doit être humide durant les 5 semaines qui suivent le traitement et la température du sol doit être supérieure à 12 °C.

⇒ Lutte chimique

Elle est limitée au traitement des semences avec un insecticide chaque fois que le seuil d'infestation atteint 20 larves/m^2.

16.7.5. Pucerons (*Psamotettix aliénus*)

Des formes de pucerons ailées et aptères peuvent être présentes ensembles sur une culture céréalière. Au printemps, on peut observer un jaunissement et un nanisme précoce sur les cultures orge et un rougissement à partir de l'extrémité du feuillage du blé. Le remplissage des grains est alors négativement affecté. Les trois espèces de puceron spécifiques des graminées sont:

16.7.5.1. *Rhopalosiphum padi*

Ce puceron est de couleur vert olive avec une zone rougeâtre à son extrémité postérieure. Les cornicules sont courts et sombres (Figure 105a). Les formes ailées, de couleur noirâtre, sont les plus redoutables dès le début de la levée des céréales car elles représentent un excellent vecteur du virus de la jaunisse nanissante de l'orge (BYDV). Au cours de la montaison, on les retrouve sur les feuilles du blé et de l'orge. Au début de l'été, elles migrent vers les cultures du maïs. Une vigilance particulière doit être entreprise dès la levée des céréales. Un seuil de nuisibilité de 5 à 10 % des plantes contaminées est délimité pour une intervention avec des insecticides foliaires.

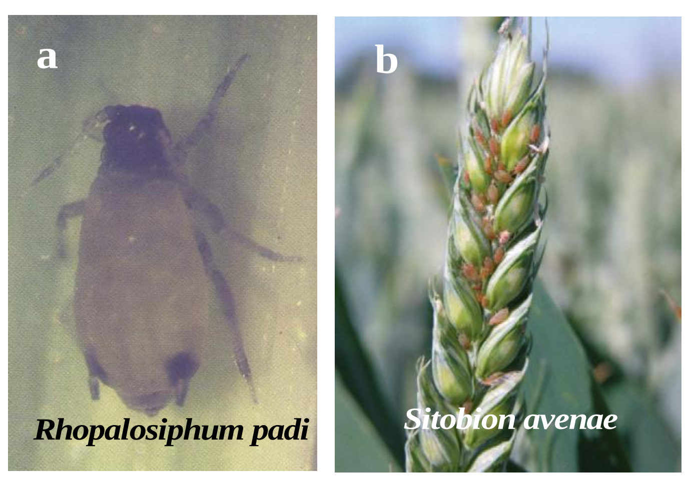


Figure 105. Les deux espèces de puceron les plus redoutables des cultures céréalières avec **a**: *Rhopalosiphum padi* et **b**: *Sitobion avenae*.

16.7.5.2. *Sitobion avenae*

Sitobion avenae présente des couleurs variables, entre le vert et le marron. A son extrémité postérieure, les cornicules sont nettement noires. Au départ, il est localisé sur le feuillage. Dès le début de l'épiaison, lors du remplissage des grains, il migre vers les épis où il exercera sa nuisibilité (Figure 105b). L'intervention insecticide n'est rentable qu'au delà du seuil de nuisibilité de 50 % des épis qui hébergent au moins un puceron. Ce seuil n'est atteint qu'une année sur cinq car les prédateurs des pucerons tels que les coccinelles et les syrphes ainsi que les auxiliaires peuvent atténuer les populations des pucerons.

16.7.5.3. *Métopolophium dirhodum*

Il a une forme allongée avec une couleur verte jaunâtre. Il est installé en grand nombre sur le feuillage. Sa salive toxique peut affaiblir les plantes. La lutte chimique est rarement nécessaire sauf en cas de colonisation précoce et généralisée sur les jeunes culture du maïs.

16.7.6. Tordeuse *(Cnephasia pumicana)*

La larve de la tordeuse, de 1 à 2 cm de long, est une chenille blanche avec des bandes brunâtres et une tête noire. Elle peut infester le lin et les graminées avoisinantes. Au début, elle est localisée dans la tige. Plus tard, elle migre vers les épis (Figure 106) et les dernières feuilles qui apparaissent creusées et effilées avec des plages blanchâtres. Les larves restent assez rares si les attaques sont limitées aux céréales. La lutte biologique basée sur les prédateurs et les auxiliaires est efficace contre les larves de la tordeuse.



Figure 106. Larve de la tordeuse (*Cnephasia pumicana*) sur épi.

16.7.7. Charançons

A travers le monde, on estime que 25 % de la production céréalière annuelle sont détériorées par les insectes et particulièrement par les Charançon du blé (*Sitophilus granarius*), du riz (*Sitophilus oryzae*) et du maïs (*Sitophilus zeamais*) (Figure 107). Ces Coléoptères, très fréquents dans les pays tempérés et tempérés chauds, sont des ravageurs primaires des céréales tels que le blé, l'orge, le triticale, le maïs, le seigle et autres.



Figure 107. Charançons du riz (*Sitophilus oryzae*), du maïs (*Sitophilus zeamais*) et du blé (*Sitophilus granarius*) aux stades adulte et larvaire.

Ils attaquent les grains entiers au champ et dans les silos de conservation (Figure 108) ainsi que les dérivés des céréales transformés tels que les farines, les semoules, etc.



Figure 108. Grains de triticale perforés suite à l'attaque par les charançons.

Le charançon du blé ne peut se reproduire que dans un grain dont le taux d'humidité est supérieur à 9,5 %, sur une plage de températures variant de 13 à 35°C. Selon les conditions d'humidité et de température du milieu, chaque femelle pond entre 200 et 300 oeufs, à raison de 2 à 3 oeufs par jour, en plaçant chacun d'eux dans un petit trou creusé dans le grain qu'elle scelle avec un bouchon de salive mucilagineux. Huit jours après, l'éclosion donne naissance à des larves, apodes, de 2,5 à 3 mm de long, caractérisées par une couleur blanchâtre et une tête brun clair (Figure 108). Les larves ne vivent jamais à l'air libre et se développent entièrement à l'intérieur du grain. Pour les petits grains comme ceux du blé et du riz, une seule larve se développe par grain. Alors que les grains plus gros comme ceux du maïs supportent le développement de nombreuses larves.

L'adulte, qui vit entre 9 mois et 2 ans, de couleur brune foncée, est équipé par des pièces buccales broyeuses et caractérisé par un rostre légèrement recourbé. Son prothorax est aussi long que son abdomen avec des élytres rainurés. Vu l'absence des ailes postérieures membraneuses, le charançon du blé ne vole jamais. Alors que les charançons du riz et du maïs sont dotés d'ailes postérieures (Figure 108).

Sous des conditions optimales, notamment, une température de 12 à 32 °C, une humidité relative de 45 % et une teneur en eau dans les grains de 11 à 12 %, chaque population de charançon sera multipliée durant 15 à 28 jours. A une température en dessous de 12°C son développement est stoppé. Selon les conditions du milieu, 3 à 5 générations de charançons se chevauchent chaque année.

Différentes méthodes de contrôle, y compris la lutte chimique, ont été préconisées pour lutter contre les charançons. Seulement, à cause des problèmes de toxicité posés par la présence de résidus dans l'alimentation, le traitement des céréales avec des insecticides ou bien avec des produits à base de bromure est remis en question.

16.8. Moineaux

En Tunisie, on rencontre le moineau domestique (*Passer domesticus*) et le moineau espagnol (*Passer hipaniolensis*). Les plus importantes différences entre ces deux espèces sont :

- La calotte: grise chez le moineau domestique et brune chez le moineau espagnol (Figure 109a).
- Le bec: noir chez le moineau domestique et clair chez le moineau espagnol (Figure 109b).
- Les flancs: absents chez le moineau domestique; avec des stries sombres chez le moineau espagnol (Figure 109c)
- Les moineaux espagnols sont les plus nombreux en Tunisie et se rassemblent en masse en grands vols.

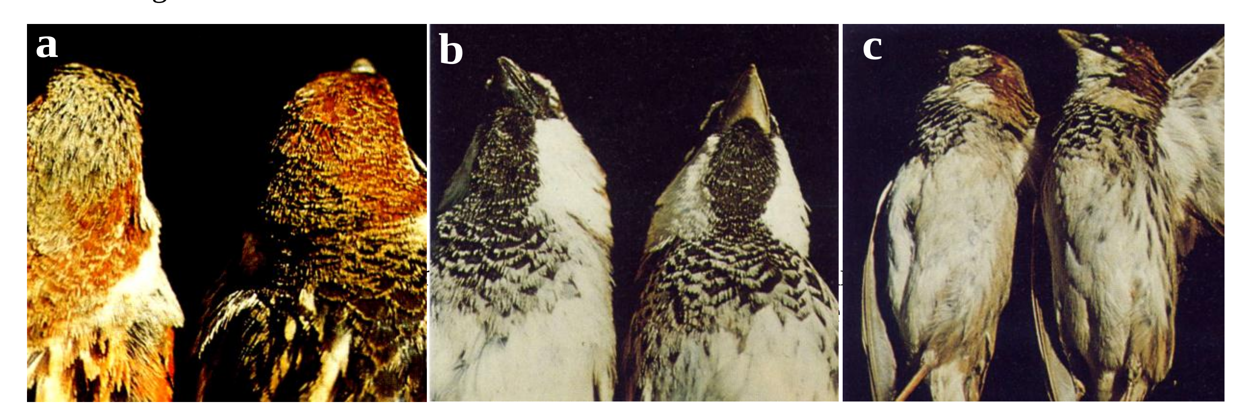


Figure 109. Moineau domestique (*Passer domesticus*) à droite et moineau espagnol (*Passer hipaniolensis*) à gauche avec **a**: La calotte; **b**: Le bec; **c**: Les flancs.

Les moineaux sont attirés par les cultures céréalières depuis le stade laiteux jusqu'à la maturité. Les grains sont enlevés des épillets. Les épis endommagés sont vides et les glumes et les glumelles sont dispersées par terre. Les tiges sont cassées sous l'action du poids des moineaux (Figure 110).

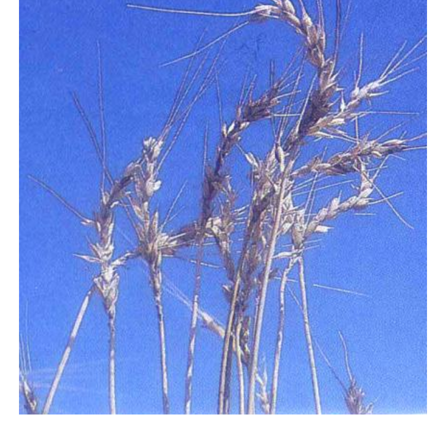


Figure 110. Epis de céréales endommagés par les moineaux.

Les dégâts occasionnés par les moineaux sont habituellement plus graves au niveau des bordures des parcelles de céréales qu'à leur intérieur.

Différentes techniques de lutte contre les moineaux sont préconisées telles que le détonateur, la silhouette, le dénichage, les appâts empoisonnés.... Toutefois, l'efficacité de ces techniques reste limitée.

17. Techniques de contrôle phytosanitaire.

La lutte contre les maladies fongiques et bactériennes, les insectes nuisibles et les ravageurs repose sur des approches de lutte biologique, génétique basée sur la résistance variétale et agronomique telle que le choix de la date de semis. Les techniques culturales, adoptées surtout en agriculture biologique, contribuent en grande partie à minimiser les risques d'infection et à limiter les dégâts sur des cultures céréalières. Il est à noter que :

- la rotation des cultures constitue un moyen utile de lutte contre plusieurs maladies et parasites par la rupture de leurs cycles de développement.
- le compostage des résidus de culture et du fumier, destinés pour la fertilisation organiques, détruit une importante masse de l'inoculum.
- les pathogènes sont détruits suite à leur exposition aux rayons solaires par le labour et les façons superficielles.
- la résistance variétale est le moyen le plus efficace pour lutter contre certaines maladies et parasites. Néanmoins, cette résistance est généralement monogénique facilement surmontable par le nombre important de races physiologiques d'une part et par l'utilisation massive et non raisonnée des variétés résistantes sous des conditions de monoculture d'autre part.
- une fertilisation azotée raisonnée donne de la résistance aux tissus des végétaux et diminue les risques d'attaque par certains agents pathogènes notamment la Septoriose, les pourritures des racines et des collets.

En culture conventionnelle, bien qu'ils soient onéreux, à action limitée et risquée à la fois, les traitements chimiques ont leur place dans la protection des cultures. Le traitement chimique des semences contre les maladies transmissibles par les semences, ainsi que les traitements chimiques, préventifs contre les champignons et/ou curatifs contre les pathogènes au cours du cycle de la culture sont prescrits.

En agriculture biologique, du fait que les céréales bénéficient d'une fertilisation azotée limitée, leur tallage est faible et leur développement végétatif est moins important que celui des céréales conventionnelles. Ceci fait que la pression des maladies cryptogamiques est faible.

La résistance variétale est un facteur déterminant de la réussite des cultures céréalières biologiques. Néanmoins, certains métaux, utilisés comme fongicides homologués, ont montré leur efficacité pour la protection des céréales biologiques. A titre indicatif, le soufre est utilisé contre l'oïdium alors que le cuivre sous la forme de bouillie bordelaise est efficace contre le mildiou et certaines maladies bactériennes.

. Le criocère et les pucerons occasionnent des dégâts limités sur les céréales biologiques. Des insecticides à base de plantes, tels que le pyrèthre naturel ou la roténone, ou la tisane d'ortie sont utilisés en cas d’une forte pression des pucerons. Des préparations à base d'algue sont parfois utilisées pour renforcer la défense immunitaire de la plante. Les nématodes des céréales peuvent être contrôlés avec le Novibiotec 7996 qui est à base du Bacillus.

Céréales II

Etude de cas: Blé, Orge, Triticale, Avoine, Sorgho, Maïs


Blé

1. Blé

1.1. Importance économique

La culture du blé est largement distribuée à travers le monde avec une superficie annuelle de l'ordre de 230 millions d'hectares et une production moyenne annuelle de 658,3 millions de tonnes (FAO; 2011).

En Tunisie, durant la décennie 2005-2014, les superficies moyennes annuelles emblavées en blé, sont de 839 500 ha dont 709 250 ha blé dur et 130 641 ha blé tendre soit respectivement 84 % et 16 % (Tableau 29). Elles sont réparties respectivement 77 % au Nord, 20 % au Centre et 3 % au Sud.

Durant cette même période, la production moyenne annuelle en blé est de l'ordre de 1 328 242 Tonnes dont 1 104 281 Tonnes blé dur et 223 737 Tonnes de blé tendre soit respectivement 82 % et 18 % (Tableau 30). Cette production est répartie respectivement: 86 % dans le Nord, 13 % dans le Centre et 1 % dans le Sud du pays.

Vu le climat méditerranéen de la Tunisie qui est caractérisé par des sècheresses intermittente, printanière et terminale, les superficies emblavées ainsi que la production du blé sont très variables. A titre d'exemple, il est a signaler que les années 2008 et 2010 .étaient marquées par une sècheresse qui a occasionné une chute considérable des superficies emblavées et de la production du blé. En revanche, suite aux conditions climatiques favorables durant les années 2005 et 2009, on a enregistré des productions du blé record (Figure111).

En Tunisie, le rendement moyen en grains du blé, l'ordre de 15,85 Qx/ha, reste faible. Le rendement en grains du blé tendre, 17 Qx/ha, est plus élevé que celui du blé dur, 15,6 Qx/ha (Tableau 31). Les rendements en grains les plus élevés sont enregistrés dans les régions du Nord. Dans les régions du centre, les rendements enregistrés sont légèrement supérieurs à 50 % de ceux obtenus dans les régions du Nord. Dans les régions du Sud, les rendements sont trop faibles (Tableau 31).

Tableau 29. Evolution des superficies récoltées du blé en Tunisie (en 1000 ha)

Années		**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**Moyenne**	**%**
Blé dur	Nord	600,053	632,163	540,024	479,014	501,368	440,372	558,965	544,848	437,252	500,207	523,427	73,8
	Centre	187,008	197,016	168,300	149,286	156,253	137,243	174,203	169,803	136,271	155,891	163,128	23
	Sud	26,019	27,411	23,416	20,770	21,740	19,095	24,237	23,625	18,959	21,689	22,696	3,2
	Total	813,080	856,590	731,740	649,070	679,360	596,710	757,405	738,276	592,482	677,787	709,250	100
Blé tendre	Nord	137,363	132,612	115,194	125,992	115,139	109,175	128,876	125,621	100,814	115,329	120,612	92,6
	Centre	8,604	8,306	7,215	7,891	7,212	6,838	8,072	7,868	6,314	7,224	7,555	5,8
	Sud	2,818	2,721	2,364	2,585	2,362	2,240	2,644	2,578	2,069	2,366	2,475	1,9
	Total	148,785	143,640	124,773	136,468	124,713	118,254	139,593	136,067	109,197	124,919	130,641	100
Total		961,42	999,8	856,14	785,13	803,7	714,61	896,58	873,936	701,352	802,332	839,5	-

Tableau 30. Evolution de la production du blé en Tunisie (en 1000 T)

Années		**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**Moyenne**	**%**
Blé dur	Nord	1087,946	865,463	990,742	616,161	1141,055	565,453	1010,567	1010,567	1010,567	1010,567	930,909	84,3
	Centre	189,713	150,917	172,763	107,445	198,974	98,602	176,220	176,220	176,220	176,220	162,329	14,7
	Sud	12,906	10,266	11,753	7,309	13,536	6,708	11,988	11,988	11,988	11,988	11,043	1
	Total	1290,565	1026,646	1175,258	730,915	1353,565	670,763	1198,775	1198,775	1198,775	1198,775	1104,281	100
Blé tendre	Nord	322,053	214,627	256,258	180,073	287,499	144,842	210,831	200,791	117,737	210,831	214,554	95,8
	Centre	12,438	8,289	9,897	6,955	11,104	5,594	8,143	7,755	4,547	8,143	8,287	3,7
	Sud	1,345	0,896	1,070	0,752	1,200	0,605	0,880	0,838	0,492	0,880	0,896	0,04
	Total	335,836	223,813	267,226	187,780	299,803	151,041	219,854	209,384	122,775	219,854	223,737	100
Total		1626,737	1250,683	1442,751	918,883	1653,668	821,955	1418,8482	1408,3685	1321,6728	1418,8482	1328,241	-

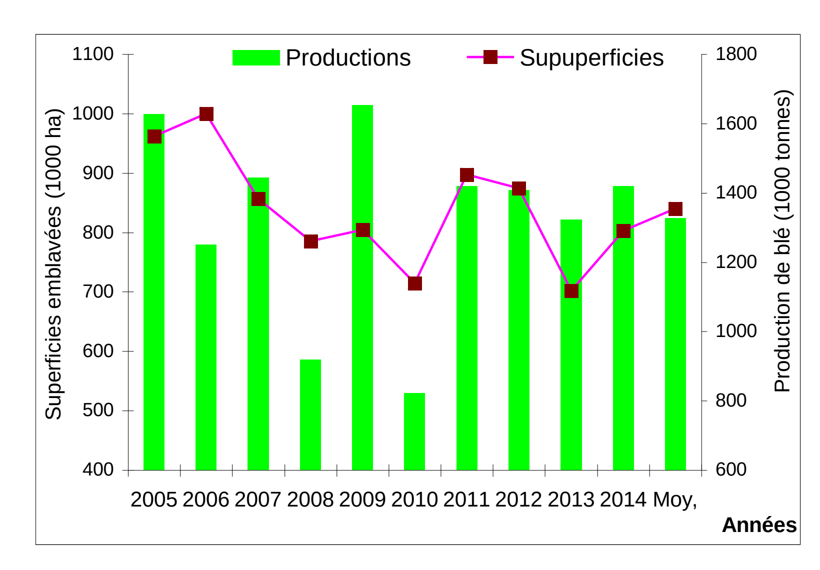


Figure 111. Fluctuations des superficies emblavées et des productions de blé en Tunisie durant la décennie 2005-2014.

Tableau 31. Evolution du rendement en grains (en Qx/ha) du blé en Tunisie

Années		**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**Moyenne**
Blé dur	Nord	18,1	13,7	18,3	12,9	22,8	12,8	18,1	18,5	23,1	20,2	17,9
	centre	10,1	7,7	10,3	7,2	12,7	7,2	10,1	10,4	12,9	11,3	10,0
	sud	5,0	3,7	5,0	3,5	6,2	3,5	4,9	5,1	6,3	5,5	4,9
	Moyenne	**15,9**	**12,0**	**16,1**	**11,3**	**19,9**	**11,2**	**15,8**	**16,2**	**20,2**	**17,7**	**15,6**
Blé tendre	Nord	23,4	16,2	22,2	14,3	25,0	13,3	16,4	16,0	11,7	18,3	17,7
	centre	14,5	10,0	13,7	8,8	15,4	8,2	10,1	9,9	7,2	11,3	10,9
	sud	4,8	3,3	4,5	2,9	5,1	2,7	3,3	3,3	2,4	3,7	3,6
	Moyenne	**22,6**	**15,6**	**21,4**	**13,8**	**24,0**	**12,8**	**15,7**	**15,4**	**11,2**	**17,6**	**17,0**
Moyenne		**16,9**	**12,5**	**16,9**	**11,7**	**20,6**	**11,5**	**15,8**	**16,1**	**18,8**	**17,7**	**15,9**

1.2. Composition organique et minérale du blé

Bien que le blé soit surtout riche en Carbohydrates, le blé tendre parait plus riche en cette substance que le blé dur. En revanche, ce dernier est plus riche en protides que le blé tendre. Pour le reste des composants, les deux espèces ont des teneurs similaires (Tableau 32).

Tableau 32. Composition organique et minérale d'un grain de blé.

Composants	Blé tendre (%)	Blé dur (%)	Moyennes
Protides	**12,5**	**15,5**	14,0
Carbohydrates	**67,2**	**63,3**	65,3
Lipides	2	2,3	2,2
Cellulose	2,3	2,8	2,6
Eléments minéraux	1,8	2,1	2,0
Eau	14,2	14	14,1
Total	**100**	**100**	**100**

1.3. Cycle biologique du blé

Les variétés de blé dur (*Triticum durum* L) et de blé tendre (*Triticum aestivum* L) sont regroupées en variétés de printemps et variétés d'hiver. Elles sont définies, respectivement, par:

- Les variétés de printemps sont semées relativement tôt au printemps et récoltées au début de l'automne. Elles sont généralement précoces avec un cycle de croissance de 70 à 90 jours respectivement pour le blé dur et le blé tendre. Elles sont cultivées dans les régions caractérisées par un froid rigoureux.

- Les variétés d'hiver sont généralement semées en automne et récoltées en été. Leur cycle de croissance est plus long que celui des variétés de printemps et dure de 183 à 277 jours respectivement pour le blé dur et le blé tendre. Ces variétés sont cultivées dans les régions à climat doux où la température moyenne hivernale est au-dessus de 0° C.

En Tunisie, les variétés de blé cultivées sont des variétés d’hiver.

1.4. Différents organes d’un plant de blé

Les espèces de blé cultivées ont une croissance déterminée et présentent une photosynthèse en C_3. Un plant de blé est composé d’un appareil végétatif herbacé et d’un appareil reproducteur.

1.4.1 - Appareil végétatif

L’appareil végétatif est formé d’un système radiculaire fasciculé et d’une biomasse aérienne composée selon les variétés, de 6 à 25 tiges (chaumes ou talles) avec une hauteur qui varie de 1 m pour les variétés «semi naines» à 1,70 m (Figure 112). Une talle est une succession de nœuds et d’entre-nœuds qui s’allongent au cours de la phase de montaison. L’entre-nœud supérieur qui porte l’épi est dit « pédoncule ». La hauteur et la vigueur de la talle dépendent de la position de cette dernière dans le plant à savoir primaire, secondaire ou tertiaire, de la variété et du niveau de fertilité du sol. Les feuilles naissent à l’aisselle de chaque nœud dans une disposition alternée l’une de l’autre avec un angle de 180°. Chaque feuille est composée d’une gaine enveloppant l’entre-nœud supérieur et d’un limbe complètement dégagé de l’axe de la talle. Au point d’insertion du limbe sur la gaine, la feuille présente une ligule courte qui se prolonge par des oreillettes ou stipules poilues (Figure 112).

Pour une même variété de blé, la durée de la phase végétative dépend de la température et de la photopériode. Alors que, la vitesse de formation des feuilles et des talles est en fonction linéaire avec la température mais indépendante de la photopériode.

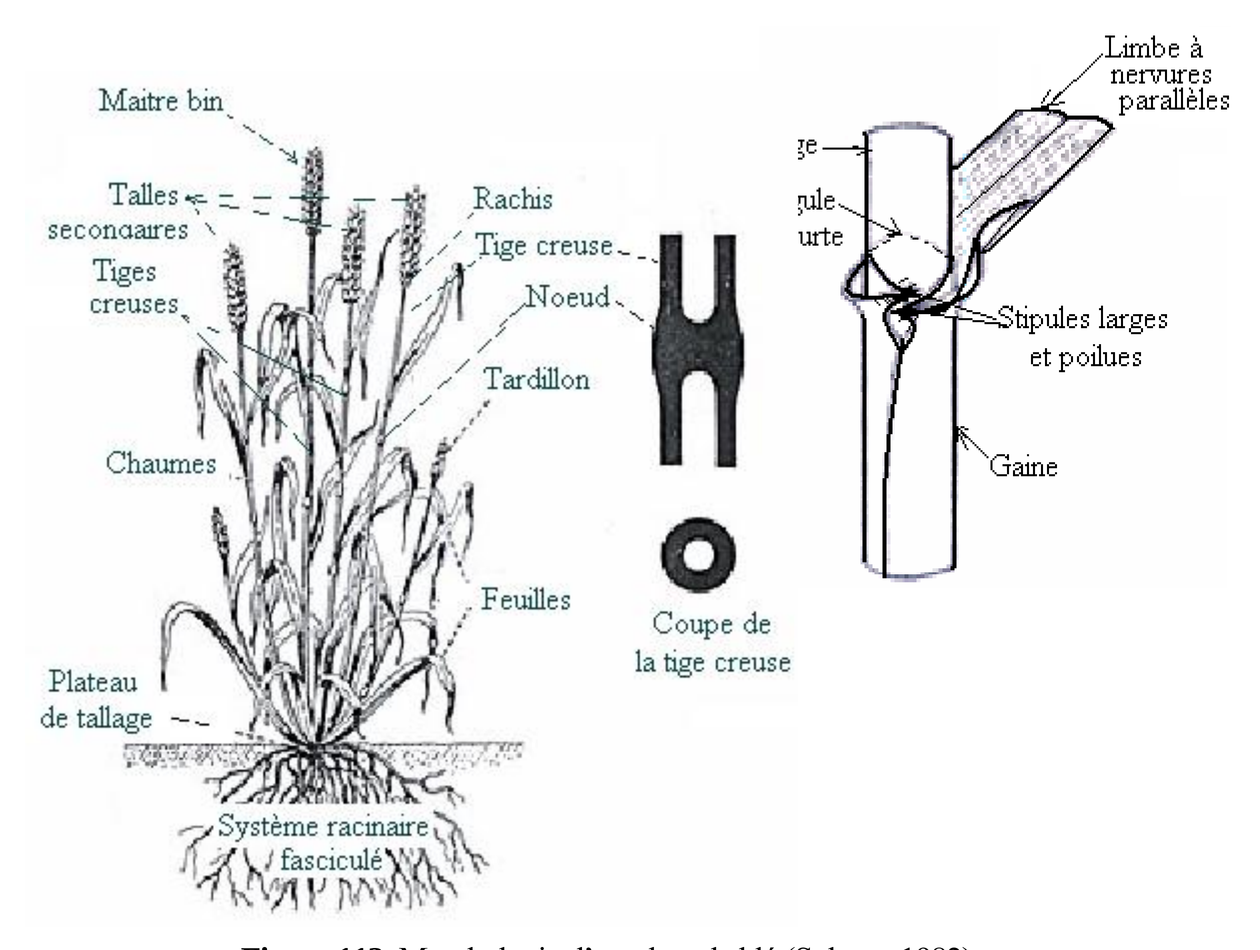


Figure 112. Morphologie d’un plant de blé (Soltner, 1982).

1.4.2. Appareil reproducteur

Après une période de croissance végétative plus ou moins longue de 40 jours environ, selon la précocité variétale, l’apex de chaque chaume fertile se termine par un épi. La durée de la phase d'initiation florale dépend de la température et de la photopériode. L’épi du blé est composé de 15 à 40 épillets insérés, en lignes doubles, de façon alternée, de part et d’autre autour d’un axe dit « rachis » (Figure 113). A chaque noeud du rachis il y a un seul épillet. Selon les variétés, chaque épillet comprend entre 3 et 5 fleurs dont 1 à 3 avortent avant la maturité. Chaque fleur, hermaphrodite, est enveloppée par deux bractées internes appelées glumelles (palea et lemna) et deux bractées externes dites glumes. Elle comprend un ovaire possédant un seul ovule, un stigmate divisé ou « bifide » plumeux et trois étamines, comprenant un filament et une anthère (Figure 113). L’anthèse passe par sept phases (Figure113). Chacune des cinq premières phases dure de 2 à 5 minutes. Alors que les phases 6 et 7 durent environ entre 15 et 40 minutes. Suite à l'autofécondation, par cléistogamie, il y a formation d'un fruit dit «Caryopse» qui est, à la maturité, sec, nu et indéhiscent. Vu que le blé

est une plante autogame, la conservation de la pureté variétale est parfaite et la création de nouvelles variétés hybrides nécessite une fécondation artificielle.

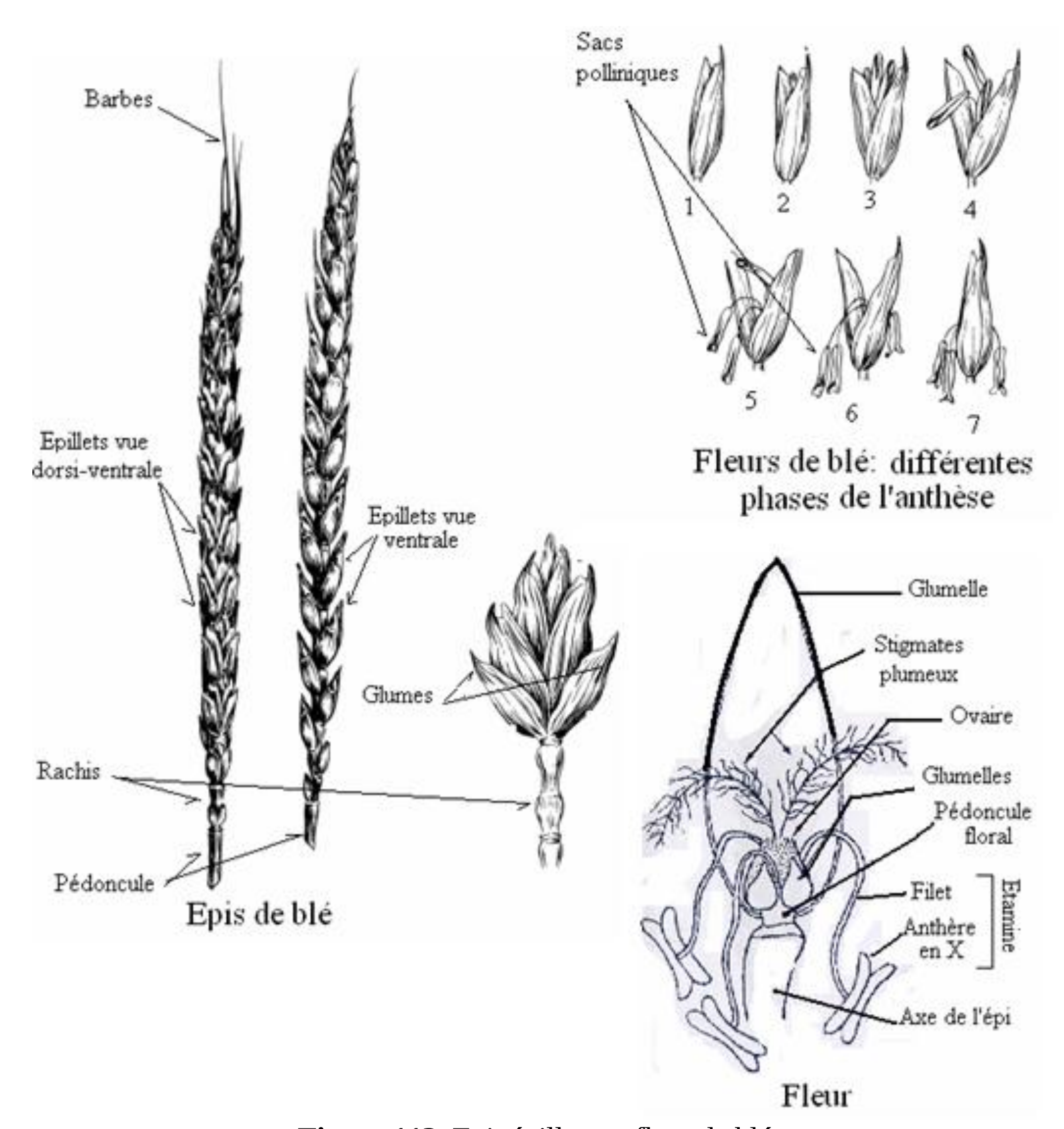


Figure 113. Epi, épillets et fleur de blé.

Lors du battage, les glumes et les glumelles, qui sont des enveloppes externes du caryopse, sont perdues. A l'extrémité inférieure de la face dorsale du caryopse, on remarque la présence d'une petite plage ridée qui marque l'emplacement de l'embryon. L'extrémité opposée est coiffée d'une touffe de poils dénommée brosse (Figure 114).

La structure anatomique du caryopse est composée de trois parties (Figure 114):

⇒ les enveloppes internes qui représentent 14 à 15 % du poids du grain. Une coupe longitudinale du caryopse permet de déceler, de l'extérieur vers l'intérieur:

- Le péricarpe ou tégument du fruit qui est formé de trois assises cellulaires, notamment, l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe,
- Le tégument séminal étant le vestige du tégument interne de l'ovule,

- La bande hyaline ayant un aspect transparent,
- La couche à aleurone,

⇒ L'albumen farineux ou amande représente 83 à 85 % du poids du grain et est composé de 70 % d'amidon et de 7 % de gluten protéique.

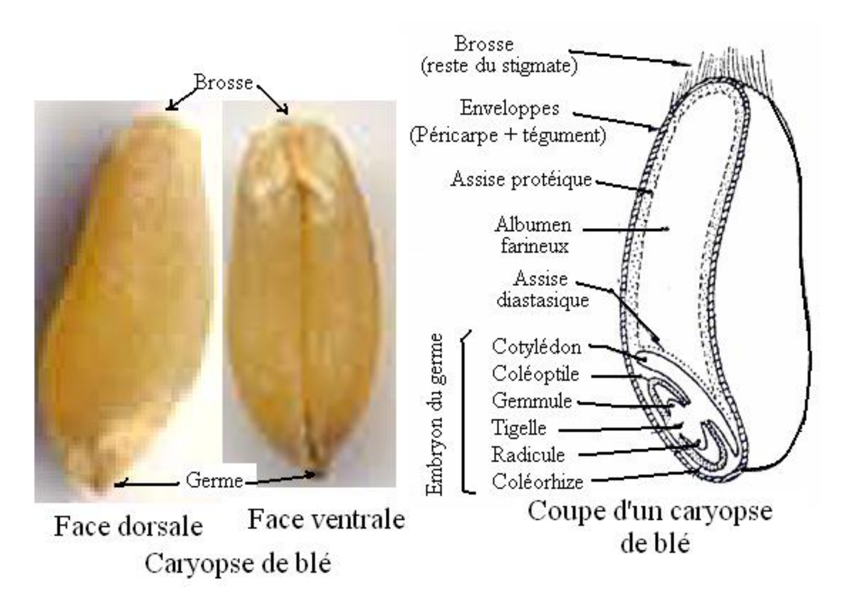


Figure 114. Morphologie et composition d'un caryopse de blé.

⇒ L'embryon représente 1,4 % du poids du grain. Il est constitué de:

- la radicule, protégée par la coléorhize et les ébauches de la première et la deuxième paire de racines,
- la tigelle court-nouée,
- la gemmule formée de la première feuille qui est protégée par le coléoptile et différenciées par le méristème apical de la plantule,
- le cotylédon, le scutellum.

1.5. Caractères botaniques

Le blé est une monocotylédone herbacée, annuelle, de la famille des graminées. Il appartient au groupe des grandes espèces du genre *triticum*, que l'on peut classer d'après le nombre de leurs chromosomes qui est un multiple du nombre haploïde (n = 7). Trois grands groupes de blé, appartenant à trois niveaux de ploïdie différents, ont été utilisés pour l'alimentation humaine. On y distingue:

1.5.1. Blé diploïde (2n = 14)

Le blé diploïde est représenté par *Triticum monococcum* L. est dit encore **petit épeautre** ou **engrain**. L'épi est grêle et chaque épillet renferme un seul grain vêtu (Figure 115). Il est originaire du Caucase et d'Asie mineure. Il était largement cultivé dans les

premiers périodes préhistoriques. De nos jours, il est rarement cultivé en Afrique du Nord vu son faible rendement en grains.



Figure 115. Grains et épis de blé diploïde (*Triticum monococcum* L.) « Petit épeautre» ou «Engrain».

1.5.2. Blés tétraploïdes (2n = 28)

Les blés tétraploïdes représentent environ 10% de la production mondiale du blé et englobent:

⇒ *Triticum durum* DESF. Communément appelé « **blé dur** », possède un épi solide. Généralement, les épis sont barbus, les feuilles larges, la paille souple et fragile. Le grain est nu, dur et à cassure vitreuse (Figure 116). Il est broyé en semoule convenable pour la fabrication des pâtes. La farine est non panifiable à cause de sa forte ténacité et son très faible gonflement.



Figure 116. Grains et épis de blé tétraploïde (Blé dur = *Triticum durum* DESF) avec une coupe transversale du grain montrant son aspect vitreux.

⇒ *Triticum dicoccum* SCHUEBI.: C'est l'**amidonnier**, qui est très ancien et possède deux grains vêtus par épillet (Figure 117). Il est encore cultivé en mélange avec d'autres types de blé dur au Proche Orient, l'URSS et le Sud Ouest de l'Asie...



Figure 117. Epis et grains de blé tétraploïde (*Triticum dicoccum* SCHUEBI.) «Amidonnier».

1.5.3. Blés hexaploïdes (2n = 42)

Les blés hexaploïdes comprennent

⇒ *Triticum aestivum* L ou *T. vulgare:* C'est le **blé tendre** ou **froment**, à grains nus (Figure 118). Jusqu'à lors, on a répertorié plus de 20 000 cultivars de blé tendre. Il est surtout connu pour sa flexibilité génétique. Actuellement, il représente 90 % de la production mondiale du blé. Il est cultivé pour sa productivité élevée et sa farine panifiable.



Figure 118. Grains et épis de blé héxaploïde (*Triticum aestivum* L ou *T. vulgare*) « Blé tendre» ou «Froment » avec une coupe transversale du grain montrant son aspect farineux.

⇒ *Triticum aestivum ssp. spelta* ou **épeautre**: C'est une sous espèce du blé tendre à grains vêtus, dite encore **grand épeautre** par opposition au **petit épeautre** ou **engrain,**. Il est réputé pour sa rusticité, sa résistance au froid et à la verse malgré la hauteur de sa paille plus élevée que celle du blé tendre (Figure 119).



Figure 119. Epis et grains non décortiqués du Grand épeautre ou blé tétraploïde (*Triticum aestivum ssp. Spelta*) «Grand épeautre»

⇒ Il pousse bien dans les sols marginaux, lourds et pauvres en éléments fertilisants. Il ne répond pas facilement aux apports d'azote. Son inconvénient réside dans le fait que son rendement en grains est faible et après le battage les enveloppes ou glumelles restent adhérentes à l'instar d'autres céréales tels que l'orge et le riz.

1.6. Fertilisation phospho-potassique

Sachant qu'il faudrait 1,7 kg de phosphore et 2,2 kg de potasse pour produire un quintal de blé. Des travaux de recherche ont montré que les besoins d'une culture de blé en phosphore et en potasse comme fumure de fond, dépendent en grande partie la conduite de la culture (en pluvial ou bien en irrigué), de la zone bioclimatique, de la densité du semis et du rendement en grains projeté. Toutefois, lors de la fertilisation de fond, il faudrait tenir compte de l'état de fertilité du sol qui est basé sur les résultats de l'analyse du sol. Les apports en éléments P et K devraient être limités aux quantités manquantes. A titre indicatif, certaines doses de produits fertilisants P_2O_5 et K_2SO_4 ont été avancées (Tableau 33).

Tableau 33. Besoins d'une culture de blé en phosphore et en potassium (en kg/ha) en fonction de la zone bioclimatique, la densité de semis et les rendements objectifs.

Zone agro climatique	Densité du semis (Grains/m^2)	Rendement grain Objectif (qx/ha)	P_2O_5	K_2SO_4
Semi-aride	200	24	31	53
Sub-humide	250	40	68	88
Irrigation d'appoint	300	60	102	132
Irrigué	400	80	136	176

1.7. Fertilisation d'entretien

Par comparaison aux autres espèces céréalières, le blé parait relativement plus exigent en azote. Il prélève ses besoins à partir des réserves contenues dans le sol et des apports organiques ou minéraux sous forme d'engrais de fond ou d'entretient. Les besoins les plus importants sont requis durant les phases de tallage et de remplissage des grains. Toutefois, des apports non raisonnés en azote conjugués à une humidité optimale dans le sol, pourraient engendrer la verse particulièrement au niveau des génotypes sensibles et un développement déséquilibré au profit de la biomasse et au détriment du rendement en grains. En revanche, sous des conditions de sécheresse, l'humidité dans le sol est déficitaire. De tels apports ne sont pas valorisés et un déséquilibre s'instaure entre le développement de la biomasse végétale et les disponibilités en eau dans le sol.

Des travaux de recherche ont montré que la dose d'azote pourrait être déterminée selon la formule suivante:

Dose d'azote (kg/ha) = (RGO - RGT) x (EUN/CUA) ; Avec

- RGO (Rendement en Grains Objectif en Qx/ha) est estimé à partir de l'indice de disponibilité de l'azote;
- RGT (Rendement en Grains Témoin en Qx/ha) peut être estimé à partir de la teneur du sol en matière organique selon la régression: RGT = -2,3 + 27,1 x MO (%);
- EUN (Efficience d'Utilisation de l'azote) est généralement compris entre 3,5 et 3.95 kg N/ql de grains de blé.
- CAUN (Coefficient Apparent d'Utilisation de l'azote) est généralement compris entre 60 et 65 %.

Les apports d'azote, nécessaires pour une culture de blé, varient conjointement selon l'espèce, l'assolement, le stade de développement de la culture et la zone bioclimatique. En fait, le blé dur est plus exigent en azote que le blé tendre. Les apports doivent être plus élevés pour un assolement quadriennal que pour un assolement triennal ou biennal (Tableau 34).

Tableau 34. Apports d'Azote en fonction du type d'assolement et des espèces cultivées.

Assolement	**Blé dur**		**Blé tendre**	
	N (Unités/ha)	**Ammonitrate 33.5 %(kg/ha)**	**N (Unités/ha)**	**Ammonitrate 33.5 %(kg/ha)**
Biennal	56	200	42	150
Triennal	79	250	58	200
Quadriennal	122	350	94	300

Au stade semis, les apports en azote sont faibles et varient de 16,5 à 33 U/ha. Au stade tallage, ils sont modérés et varient de 22 à 33 U/ha. Au stade montaison, la croissance est très active. Les besoins en azote sont élevés et varient selon le rendement à l'hectare escompté et la pluviométrie de 33 à 66 /ha (Tableau 35).

Tableau 35. Répartition des quantités d'azote en fonction des stades de développement de la culture.

Stades	**Apports**		**Observations**
	Azote Unité/ha	Ammonitrate 33.5 %Kg/ha	
Semis	16,5 à 33	50 à 100	Faibles besoins en azote. Apport en fonction de la zone bioclimatique.
Tallage	22 à 33	75 à 100	Faibles besoins en azote. Apport si la pluviométrie (P) > 200 mm.
Montaison	33 à 66	100 à 200	Croissance active. Importants besoins en azote. Apports selon le rendement à l'hectare escompté et la pluviométrie. Durant les années pluvieuses ou en cas d'irrigation complémentaire apporter 150 kg/ha à la montaison et 50 kg/ha à la floraison

1.8. Semis

1.8.1. Date du semis

La date du semis varie selon la précocité de l'épiaison et de la floraison du génotype qui sont déterminées par la température et le type, la fertilité et l'état hydrique du sol. En Tunisie, les variétés tardives réalisent leur épiaison et leur floraison au cours du mois d'avril. Ces variétés sont à éviter vu qu'elles risquent la sècheresse terminale,. En revanche, l'épiaison et la floraison des variétés précoces se déroulent vers la fin du mois de mars. Ceci leur permet d'échapper à la sècheresse printanière.

La date optimale du semis des variétés précoces est du 15 novembre au 15 décembre dans les gouvernorats du Nord et du Nord Ouest et au cours du mois de Novembre dans les gouvernorats du Centre et du Sud. Alors que les variétés mi-précoces peuvent être semées dés le début du mois de Novembre dans tout le territoire Tunisien.

1.8.2. Précautions à prendre lors du semis mécanisé

Avant de procéder au semis certaines dispositions devraient être entreprises, notamment:

- Réglez le semoir dès qu'on change des variétés vu qu'elles diffèrent selon le poids de 1000 grains.
- Vérifiez le débit réel du semoir en procédant à un semis à blanc sur une surface plane et suffisamment compacte le long d'une dizaine de mètres.
- Vérifiez si le nombre de grains semés par mètre carré correspond à la densité de semis recherchée.
- Vérifiez la profondeur du semis. Puisqu'elle conditionne la date de levée, la vigueur des plantes, leur capacité de tallage et d'enracinement.

1.8.3. Choix variétal

Le choix variétal du blé est, surtout, fondé sur le degré d'adaptation du génotype aux zones bioclimatiques, à la résistance aux maladies, au pouvoir concurrentiel vis-à-vis des mauvaises herbes et aux qualités technologiques. Les services techniques spécialisés ont recommandé aux agriculteurs Tunisiens des variétés sélectionnées de blé dur (Tableau 36) (Figure 120) et de blé tendre (Tableau 37) (Figure 121).

Tableau 36. Caractéristiques des variétés de blé dur cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al*., 2007; IRESA, 2014).

Variété	Caractéristiques
Karim (Figure 120a)	Sélectionné par l'INRAT; Epi velu, légèrement pyramidal, blanc-jaunâtres se colorant légèrement en noir sous les très bonnes conditions de maturation. Variété très fertile; Mi-précoce et de bon tallage; Poids spécifique de 78 à 82 kg/hl; Poids de 1000 grains de 40 à 45 g; Tolérant la sècheresse; Résistant à l'oïdium; Moyennement résistante à la Septoriose; à la rouille noire et à la rouille jaune; De bonne résistance à la verse et peut supporter de fortes fumures azotées. Adaptée à toutes les régions du Nord et peut être recommandée en culture avec des irrigations d'appoint.
Razzek 87 (Figure 120b)	Sélectionné par l'INRAT de parents Mexicains dont l'un est Karim; Mi-précoce; De même précocité que Karim; Epi blanc, presque cylindrique compact, à glumes velues; Barbes noirâtres sous de bonnes conditions de maturité; Paille creuse; Hauteur moyenne 85 cm; Très productif grâce à son très bon tallage, à la fertilité de son épi, au poids de 1000 grains variant de 40 à 50 g et au Poids spécifique de 75 à 82 kg/hl; Grains blancs, ovoïdes et gros; Tolérant la sècheresse; Très résistant à la verse et à l'échaudage; Moyennement résistant au mitadinage; Sensible à la Septoriose et à la rouille brune.
Om Rabiaa (Figure 120c)	Sélectionné par l'INRAT; Précoce avec deux écotypes: Om $Rabiaa_3$ et Om $Rabiaa_5$; Fertile; Productif; Poids spécifique de 78 à 80 kg/hl; Poids de 1000 grains de 36 à 40 g; Tolérant la sècheresse, la rouille brune et la Septoriose; Sensible à la verse et aux maladies cryptogamiques; Destiné principalement aux zones semi arides.
Khiar 92 (Figure 120d)	Sélectionné par l'INRAT; Très fertile; Très productif; Poids spécifique de 72 à 82 kg/hl; Poids de 1000 grains: 35 à 40 g; Résistant à la verse; Sensible à la Septoriose et à la Rouille brune.
Nasr 99 (Figure 120 e)	Sélectionné par l'ICARDA; Mi-précoce; Fertile; Productif; Poids spécifique de 78 à 80 kg/hl; Poids de 1000 gr: 35 à 40 g; Résistant à la rouille brune et à la Septoriose;
Maali (Figure 120f)	Hybride Tunisien sélectionné par l'INRAT; Fort tallage; Précoce; Très fertile; Très productif; Poids spécifique de 82 à 84 kg/hl; Poids de1000 grains: 40 à 45 g; Résistant à la verse; Moyennement résistant à la rouille brune et à la Septoriose.
Salim	Sélectionné par l'INRAT; Variété très productive, plus résistante à l'oïdium, à la rouille (brune et jaune) et plus résistante à la Septoriose que les variétés Karim, Razzek et khiar.

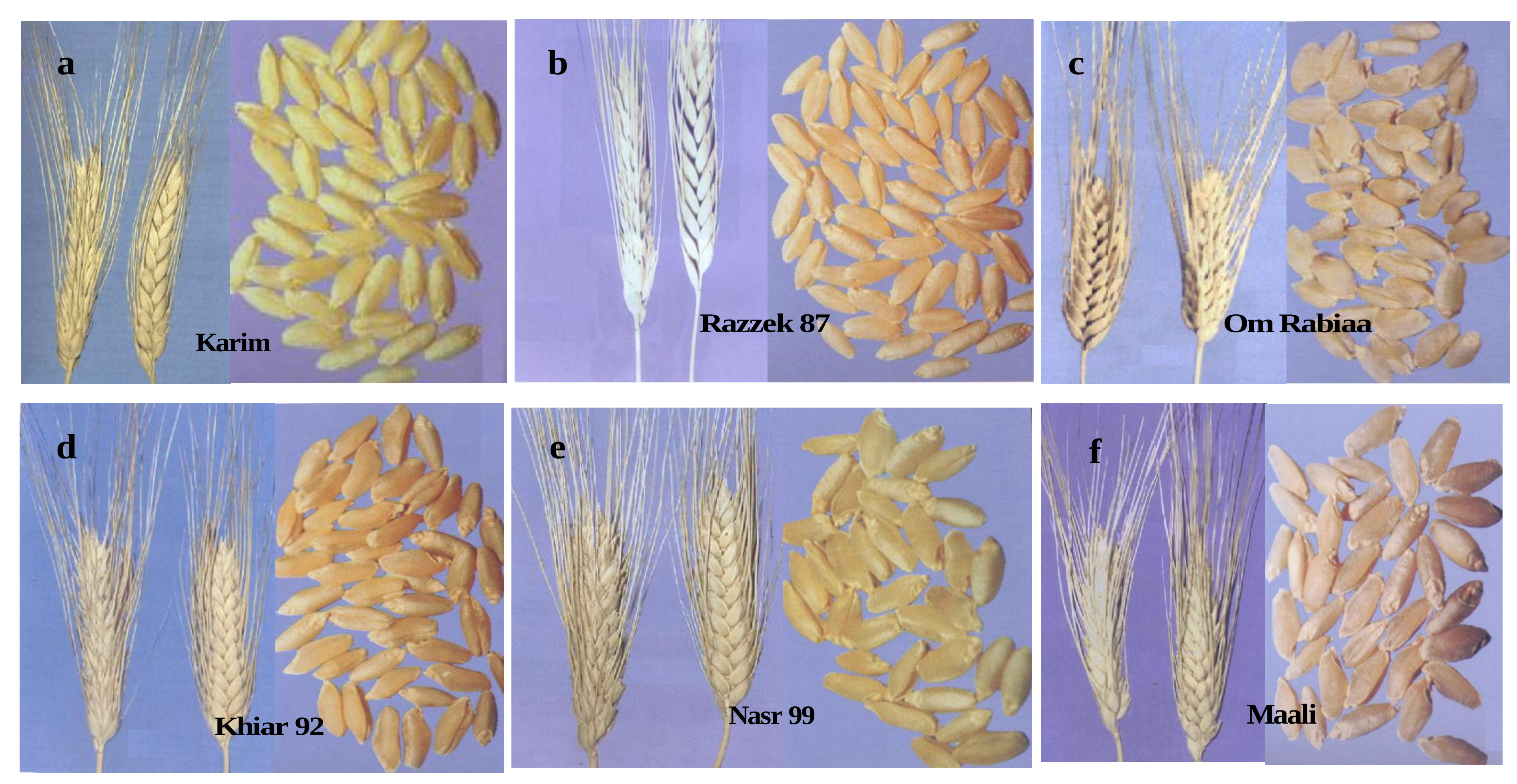


Figure 120. Les variétés de blé dur cultivées en Tunisie (Deghaîs *et al.*, 2007).

Tableau 37. Caractéristiques des variétés de blé tendre cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al*., 2007 ; IRESA, 2014).

Variété	Caractéristiques
Salambo (Figure 121a)	Sélectionné par l'INRAT; Variété précoce; plastique et adaptée au semi aride supérieur; Epi blanc; Grains ovoïdes de couleur blanc jaunâtre; De bonnes qualités boulangères; Paille de hauteur moyenne; Feuilles légèrement vertes; striées et pâles; Résiste à la verse et supporte des doses élevées de fumure azotée; Productivité élevée; Rendement supérieur à 40 Qx/ha; Poids spécifique de 65 à 85 kg/hl; Poids de 1000 grains de 21 à 46 g; Tolère la sècheresse; Résistant à la rouille jaune; Moyennement résistant à la septoriose et aux rouilles brune; noire et jaune.
Tanit 80 (Figure 121b)	D'origine Mexicaine; Capacité de tallage élevée; Mi-précoce; Rendement supérieur à 80 Qx/ha; Poids spécifique de 64 à 86 kg/hl; Poids de1000 grains de 21 à 53 g; De bonnes qualités boulangères; Résistant à la verse; Sensible à la rouille jaune et la Septoriose.
Vaga 92 (Figure 121c)	D'origine Mexicaine et sélectionné en Tunisie; Mi-précoce; Légèrement plus tardif que Salambo (de 3 à 5 jours); Hauteur semblable à celle de Salambo; variant de 70 à 95 cm selon les conditions de culture; Résistant à la verse; Bonne capacité de tallage; Potentiel de production élevé et dépasse celui de Tanit 80; Rendement de 40 à 44 Qx/ha; Poids spécifique de 73 à 86 kg/hl; Poids de 1000 grains de 30 à 50 g; Moyennement sensible à la sècheresse; aux rouilles jaunes et brune; à l'oïdium et à la Septoriose; A recommander dans les zones humides et sub-humides.
Utique 96 (Figure 121d)	Sélectionné par l'INRAT; Comparable à Salambo; Capacité de tallage élevée; Mi-précoce; Potentiel de production élevé; Rendement de 43 à 52 Qx/ha; Grains blancs légèrement ambrés de taille moyenne comparable à celle de Tanit; un peu plus gros que celle de Salambo; Poids spécifique de 76 à 78 kg/hl; Poids de 1000 grains de 29 à 41 g; Tolérant la sècheresse; Bonne résistance à la verse; à la rouille noire; à l'oïdium et à la Septoriose
Tebika 96 (Figure 121e)	Sélectionné par l'ICARDA; Mi-précoce; De bonne capacité de tallage; Rendement comparable à celui de Salambo; variant de 40 à 47 Qx/ha; Grains blancs; Poids spécifique variant de 76 à 78 kg/hl; Poids de 1000 grains variant de 30 à 35 g; Hauteur comparable à celle de Salambo et de bonne résistance à la verse; Tolérant à la sècheresse; Résistant aux rouilles noire et brune, à l'oïdium et à la Septoriose.
Byrsa 87 (Figure 121f)	Origine Mexicaine sélectionné en Tunisie; Capacité de tallage élevée; Productif; Tardif; Sensible à au manque d'eau; à conduire dans les zones humides et sub-humides avec des irrigations d'appoint en cas de nécessité; Poids spécifique de 70 à 87 kg/hl; Poids de1000 grains de 27 à 48 g; De bonnes qualités boulangères; Résistant à la verse; Très sensible à la rouille jaune, à la Septoriose et à l'oïdium.
Haïdra 99 (Figure 121g)	Sélectionné par l'INRAT; Mi-précoce; Productive; Poids spécifique de 77 à 84 kg/hl; Poids de 1000 grains de 35 à 39 g; De bonne qualité boulangère; Tolérant la sècheresse; Adapté aux zones semi arides; Résistant à la verse, aux rouilles noire et brune et à la Septoriose; Sensible à la carie;
Tahent	Sélectionné par l'INRAT/CIMMYT Variété productive et résistante aux maladies (l'oïdium, Septoriose et rouille jaune).

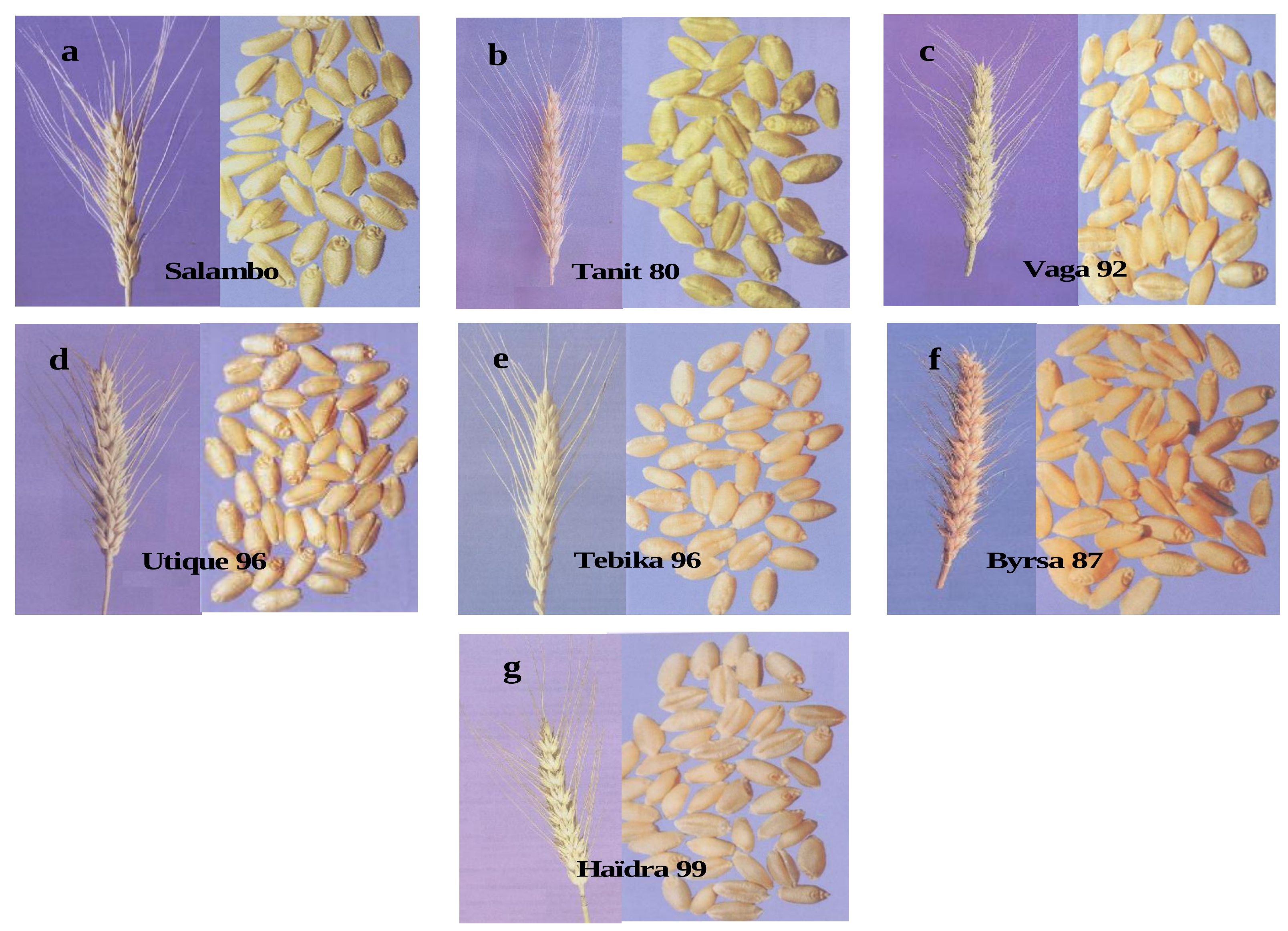


Figure 121. Les variétés de blé tendre cultivées en Tunisie (Deghaîs *et al.*, 2007).

1.9. Besoins culturaux

1.9.1. Besoins en eau de la culture

Les études expérimentales ont montré que le blé est exigeant en eau. En conditions de sècheresse, l'efficience d'utilisation de l'eau est de 7 à 10 mm/ql de blé tendre et plus de 10 mm/ql de blé dur. Un stress hydrique durant la phase de montaison entraîne une diminution du nombre de talles. S'il parvient durant les stades « apparition de la feuille drapeau » et « épiaison », il occasionne une réduction de la fertilité des épis. Un manque d'eau pendant le remplissage des grains aboutit à une baisse du poids de 1 000 grains.

Les besoins hydriques de la culture du blé sont variables avec une moyenne de 550 mm. Ils sont faibles, de l'ordre de 480 mm, pour les variétés précoces, et plus élevés, environ 630 mm, pour les variétés tardives. En Tunisie, il est recommandé de cultiver le blé dur dans les zones humides, dont la pluviométrie est supérieure à 450 mm, et le blé tendre, qui est moins exigeant en eau, dans les zones subhumides, dont la pluviométrie varie de 350 à 450 mm. Avec des apports d'eau, pluviométrie et eau d'irrigation, inférieurs à 180 mm, dits «Seuil minimum», la production en grains est nulle et la récolte est limitée à la paille. Au de là de 180 mm, les rendements en grains sont proportionnels aux quantités d'eau administrées. Les variétés récentes ont une meilleure efficience d'utilisation de l'eau par rapport aux variétés anciennes. Pour la culture du blé, les phases de croissance les plus sensibles au déficit hydrique sont par ordre décroissant: la montaison-épiaison, la maturité du grain, la germination, l'émergence et en fin le tallage.

1.9.2. Tolérance à la salinité

Le blé dur et le blé tendre sont sensibles à la salinité du sol et de l'eau d'irrigation. En Tunisie, des travaux de recherches ont montré que les chutes du rendement en grains du blé débutent à des teneurs en sel dans l'eau d'irrigation supérieures à 3 g/l. Alors que, dans le sol la chute du rendement est à une salinité de 4 millimho/cm^2 à 25 °C (Tableau 38).

Tableau 38. Effets de la salinité du sol et de l'eau d'irrigation sur le rendement.

Salinité de l'eau (g/l)	0.2	1	1.5	2	3	**4**	**6**
Rendement (%)	100	100	100	100	100	**90**	**75**
Salinité du sol (millimho/cm^2 à 25 °C)	0	2	**4**	**6**	8		
Rendement (%)	100	100	**90**	**80**			

1.9.3. Nature du sol

Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés, profonds et dépourvus de calcaire actif. Un pH de 6,5 à 7,5 semble le plus convenable à la culture du blé puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote.


Orge

2. Orge

L'orge est utilisée, principalement, pour l'alimentation du bétail. Comme elle pourrait avoir d'autres usages entre autres: l'alimentation humaine, la brasserie et comme engrais vert. Les variétés à paille haute peuvent avoir un usage à double fin, notamment, une coupe avant l'épiaison à utiliser comme fourrage et une production en grains par la suite.

2.1. Importance économique

A travers le monde, l'URSS reste le premier producteur d'orge; alors que les USA et les pays de l'Europe produisent à eux seuls 80 % de la production mondiale.

En Tunisie, les superficies emblavées en orge au cours de la décennie 2005-2014, ont varié selon les précipitations de 258 000 à 582 000 ha avec une superficie annuelle moyenne de 477 000 ha. Elles sont réparties, selon les zones géographiques, respectivement, 51 % dans le Nord, 38 % dans le Centre et 11 % dans le Sud (Tableau 39).

Tableau 39. Répartition géographique des emblavures d'orge en Tunisie (en 1000 ha).

ANNEE	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moy.	%
Nord	190	192	227	167	282	265	291	284	247	303	245	51
centre	190	145	169	47	226	193	213	207	180	221	179	38
sud	48	95	41	44	33	51	56	55	47	58	53	11
Moyenne	**428**	**431**	**437**	**258**	**542**	**509**	**560**	**545**	**474**	**582**	**477**	**100**

Durant la même période, la production moyenne Nationale en orge est de 5 115 000 Qx. Elle est composée de 63 % dans le Nord, 32 % au Centre et 5 % au Sud (Tableau 40). Le rendement moyen National de l'orge est de 10,6 Qx/ha. Il est très variable selon les zones géographiques et les précipitations enregistrées. Il est de 13,1 Qx/ha dans le Nord, 9,1 Qx/ha dans le Centre et 5,1 Qx/ha dans le Sud (Tableau 41).

Tableau 40. Répartition géographique des productions d'orge en Tunisie (en 1000 Qx).

ANNEE	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moy.	%
Nord	2932	2127	3439	1827	5296	1653	2592	5544	1988	4969	3237	63
centre	1709	1028	1678	509	3065	678	1316	2816	1010	2524	1633	32
sud	11	385	234	202	188	225	206	440	158	394	266	5
Moyenne	**4652**	**3541**	**5352**	**2539**	**8549**	**2556**	**4114**	**8799**	**3155**	**7888**	**5115**	**100**

Tableau 41. Variations du rendement en grains d'orge en Tunisie (en Qx/ha).

ANNEE	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moy.
Nord	15,4	11,1	15,1	10,9	18,8	6,2	8,9	19,5	8,1	16,4	13,1
centre	9,0	7,1	9,9	10,8	13,6	3,5	6,2	13,6	5,6	11,4	9,1
sud	4,7	4,1	5,7	4,6	5,7	4,4	3,7	8,1	3,3	6,8	5,1
Moyenne	10,9	8,2	12,2	9,8	15,8	5,0	7,4	16,1	6,7	13,6	10,6

Les rendements les plus faibles sont enregistrés durant les années 2010 et 2013. En revanche, au cours des années 2012 et 2009, on a enregistré des rendements record, respectivement, de 16,1 et 15,8 Qx/ha. Au cours de la décennie (2005-2014), le rendement en grains d'orge a connu une très faible progression positive (Figure 122).

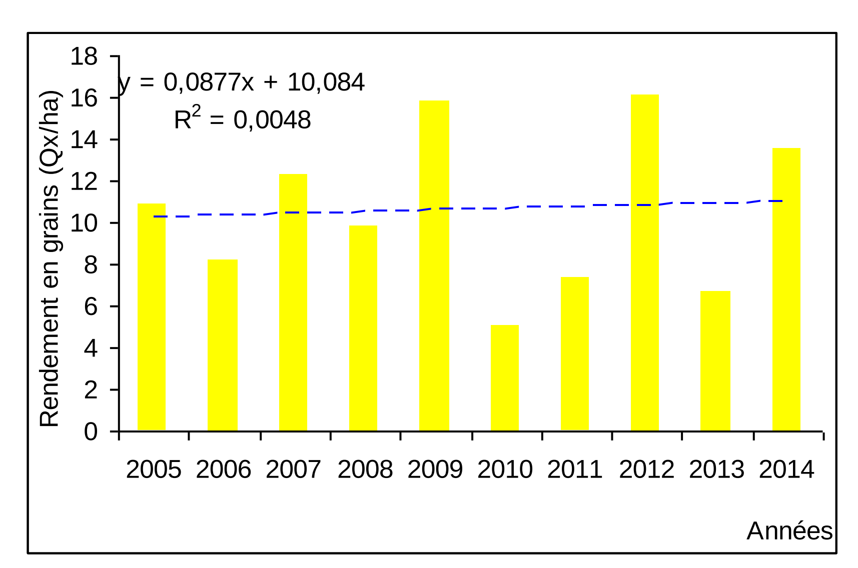


Figure 122. Variation du rendement en grains d'orge en Tunisie durant la décennie (2005-2014).

2.2. Différents organes d'un plant d'orge

Le système radiculaire de l'orge est fasciculé comme chez le blé, mais, il est superficiel ou traçant et moins puissant. Les feuilles, de couleur vert clair, sont caractérisées par une ligule courtes et deux stipules ou oreillettes glabres, croisées et relativement plus longues que celles du blé (Figure 123).

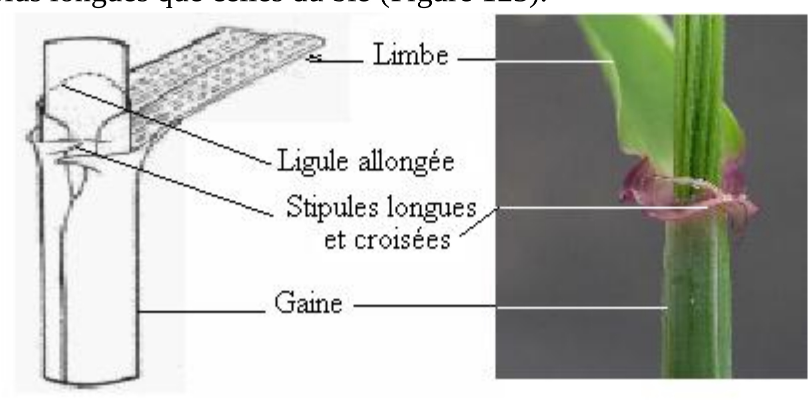


Figure 123. Point d'insertion du limbe foliaire sur la gaine d'un plant d'orge (Soltner, 1982).

Certaines variétés d’orge peuvent atteindre une hauteur de 1,20 m. Elles sont exposées à la verse. Les travaux de recherche sont orientés vers la création de variétés naines ou semi naines dont la hauteur est l’ordre de 0,80 m.

2.3. Biologie de l’orge

L’orge est une graminée, herbacée, annuelle, dont le stock chromosomique est 2n = 14. Ses mécanismes végétatifs et reproducteurs, de la germination à la maturité, sont identiques à ceux du blé. Comme chez ce dernier, l’autofécondation, qui est de règle, permet la conservation de la pureté variétale.

L'orge est une espèce de jours longs. Elle ne monte en floraison qu'en photopériode supérieure à 12-13 heures. La durée de la phase levée - épiaison exprimée en jours ou somme des températures décroît constamment avec l'allongement du jour jusqu'à un minimum caractéristique de la variété.

L'orge est rustique. Elle tolère la chaleur, le manque d’eau et les sols marginaux. A travers le monde, elle est cultivée dans toutes les zones bioclimatiques. Elle est plus résistante au froid que l’avoine et plus sensible que le blé. La température minimale de germination de l’orge est de 5 °C. Son énergie germinative et sa croissance sont proportionnelles à la température (Tableau 42). Son tallage est plus important que celui du blé. Ces facteurs ont fait que son cycle biologique, variant de 120 à 150 j, est plus court que celui du blé qui varie de 250 à 280 j. Ces caractéristiques lui confèrent une tolérance au stress hydrique à travers le mécanisme d’échappement ou esquive.

Tableau 42. Vitesses de germination et de croissance de la tige de l’orge en fonction de la température du sol.

Température (°C)	**4,38**	**10,25**	**15,75**	**19**
Vitesse de germination (jours)	6	3	2	1,75
Vitesse de croissance de la tige (cm/jour)	1,35	3,2	7,48	7,85

Les types d’orge diffèrent par la longueur et la raideur de la paille, la taille en longueur et en largeur des feuilles et le nombre de rangs des grains par épi sur le rachis. L’orge d’hiver ne diffère de l’orge du printemps que par les besoins thermiques qui sont plus élevés chez ce dernier.

Les orges sont classées d'après les caractéristiques de l’épi en trois groupes à savoir: orges à deux rangs ou distiques (*Hordeum distichon* L.) et orges à six rangs et à quatre rangs ou hexastiques (*Hordeum vulgare* L.).

2.3.1. Orge à deux rangs (*Hordeum distichon* L.)

Ce type d'orge est caractérisé par un épi aplati composé de deux rangées médianes d'épillets fertiles alternés par deux rangées d'épillets stériles. Elle ne produit qu'un seul caryopse par groupes de trois épillets (Figure 124). Les grains sont uniformes. Généralement, les feuilles de l'orge à deux rangs ont une couleur variant du vert foncé au vert pâle ou vert jaunâtre et sont plus étroites que celles de l'orge à six rangs. On y trouve, surtout, des variétés précoces de printemps et quelques variétés tardives d'hiver. Généralement, les variétés cultivées d'orge à deux rangs sont à épi lâche et appartiennent au type *nutans*, alors que quelques unes seulement sont à épi compact et du type *erectum*.

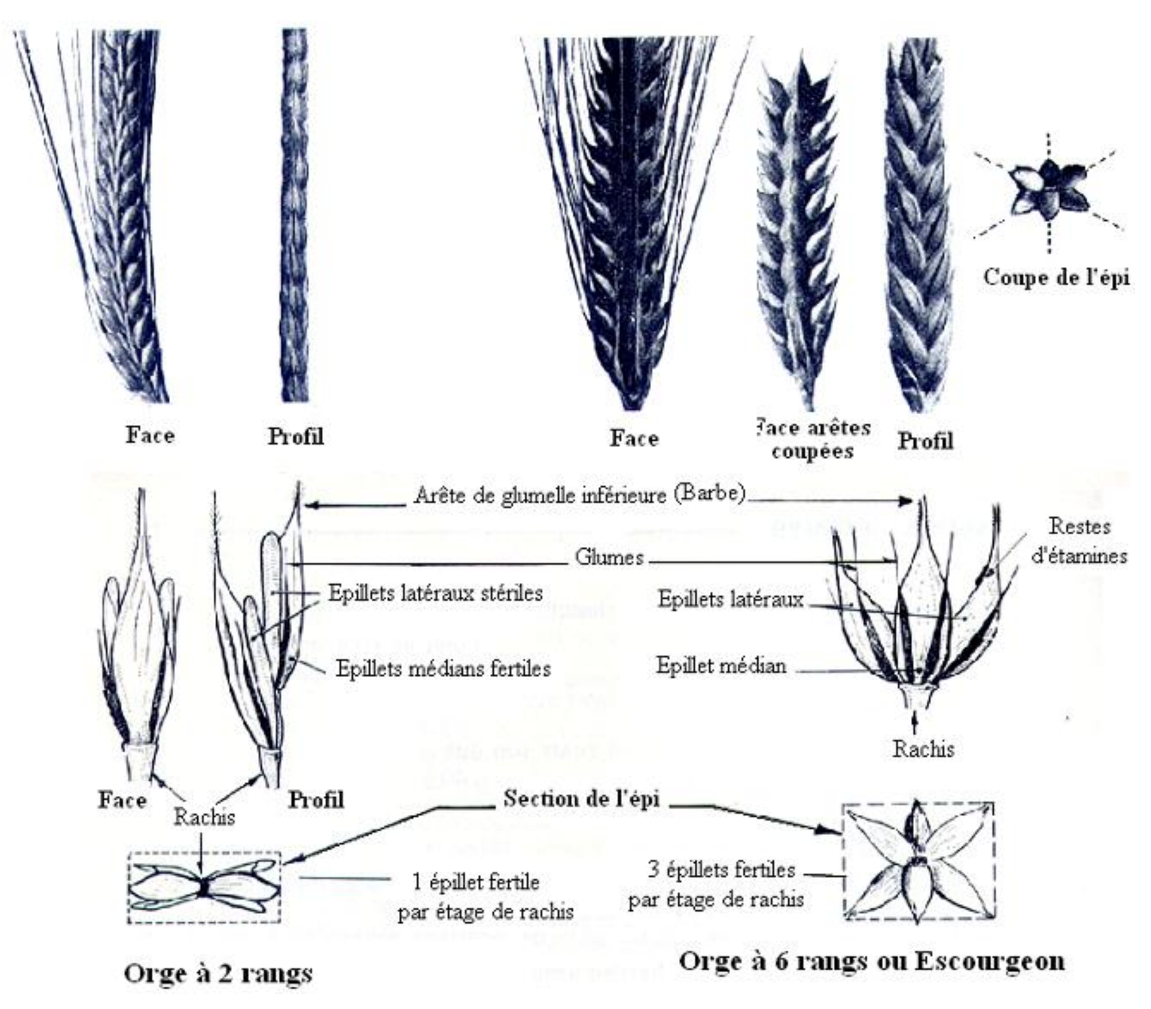


Figure 124. Organes reproducteurs de l'orge à deux rangs et de l'orge à six rangs (Soltner, 1982).

2.3.2. Orge à 6 rangs (*Hordeum vulgare* L.),

C'est une orge d'hiver du type parallelium dite aussi escourgeon. Elle est caractérisée par un épi de section rectangulaire et des grains de petits calibres. En fait, sur chaque axe du rachis, les trois épillets sont fertiles (Figure 124). Toutefois, les grains du

centre sont légèrement plus gros et plus renflés que les grains latéraux. Cette espèce comprend surtout des variétés tardives. Son enracinement profond et sa maturité précoce, l'ont rendu la céréale la plus tolérante au stress hydrique.

2.3.3. Orge à 4 rangs

Elle est du type pallidum et caractérisée par un épi aplati composé de 4 rangées d'épillets fertiles. Sur chaque coté du rachis, il y a deux épillets fertiles séparés par un épillet stérile. L'orge à 4 rangs est rarement cultivée.

2.4. Semis

La date, la densité et la profondeur de semis de l'orge dépendent des zones de cultures (Tableau 43). Dans les régions du centre et Sud, le semis est précoce avec une densité plus faible que dans les régions du Nord. Sous des conditions hydriques favorables, dans les régions du Nord, la profondeur du semis est faible de 3 à 4 cm. Alors que dans les régions du Centre et du Sud et même dans les régions du Nord, sous des conditions de déficit hydrique, le semis est plus profond et varie de 4 à 6 cm.

Tableau 43. Densité, date et profondeur du semis d'orge en fonction des zones de cultures.

Régions de culture	Date de semis	Densité de semis (kg/ha)	Profondeur de semis (cm)
Nord	1er au 15 Nov.	80 à 100	Conditions normales 3 à 4 En cas de sècheresse 5 à 6
Centre et Sud	15 Octo. à 15 Nov.	60 à 80	4 à 5

Pour atteindre une densité optimale de semis qui varie de 100 à 150 plants/m^2, il est recommandé de semer entre 200 et 250 grains/m^2. La dose du semis est proportionnelle au poids de 1 000 grains (Tableau 44).

Tableau 44. Variations de la dose du semis (kg/ha) en fonction des poids de 1 000 grains (g).

	Densité de semis (pl/ m^2)	Poids 1000 Grains (g)								
		38	38	40	42	44	46	48	50	**52**
Doses de semis (kg/ha)	**200**	**72**	78	80	84	88	92	98	100	**104**
	250	**90**	95	100	105	110	115	120	125	**130**

2.5. Choix variétal

Le choix variétal, assujetti aux orientations de l'exploitant, dépend de:

- les semences sélectionnées, à haut rendement et riches en protéines sont favorables pour la production en grains;
- l'orge à deux rangs riche en amidon est destinée pour la brasserie ;

- les variétés tardives à végétation abondante servent pour la production du fourrage;

Les variétés d'orge à 6 rangs et à 2 rangs cultivées en Tunisie figurent respectivement dans (Tableau 45) (Figure 125) et (Tableau 46) (Figure 126).

Tableau 45. Caractéristiques des variétés d'orge à 6 rangs cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al.*, 2007; IRESA, 2014).

Variété	Caractéristiques
Martin (Figure 125a)	D'origine Algérienne; Tallage moyen; tardive; Poids de 1000 grains de 41 à 46 g; Poids Spécifique de 60 à 67 kg/hl; Sensible aux maladies; Végétation abondante; sensible à la verse; Utile comme fourrage.
Rihane (Figure 125b)	Produit par l'ICARDA et testé en Tunisie; Précoce; tallage fort; Hauteur de la paille de 1 à 1,2 m; Résistant à la verse; Grains blancs jaunâtre; Poids de 1000 grains de 39 à 42 g; Poids Spécifique de 63 à 68 kg/hl; Tolérant à l'Helminthosporiose; la Rhynchosporiose; l'oïdium; Moyennement sensible à la rouille; C'est une variété plastique destinée pour la production en grains.
Manel (Figure 125c)	Produit par l'ICARDA et testé en Tunisie; Précoce; Tallage fort; Poids de 1000 grains de 37 à 44 g; Poids spécifique de 63 à 70 kg/hl; Résistance moyenne aux maladies.
Momtez (Figure 125d)	Produit par l'ICARDA et testé en Tunisie; Très précoce; Tallage fort; Poids de 1000 grains de 35 à 43 g; Poids spécifique de 62 à 67 kg/hl; Sensible au Rhynchosporium; Tolérante à la sècheresse; à l'oïdium et à la rouille; Destinée pour la production en grains.
Kounouz (Figure 125e)	Produit par l'INRAT/ICARDA en 2010; Plus productive que les populations locales d'orge.
Imen	Obtenue par l'INRAT en 2011.

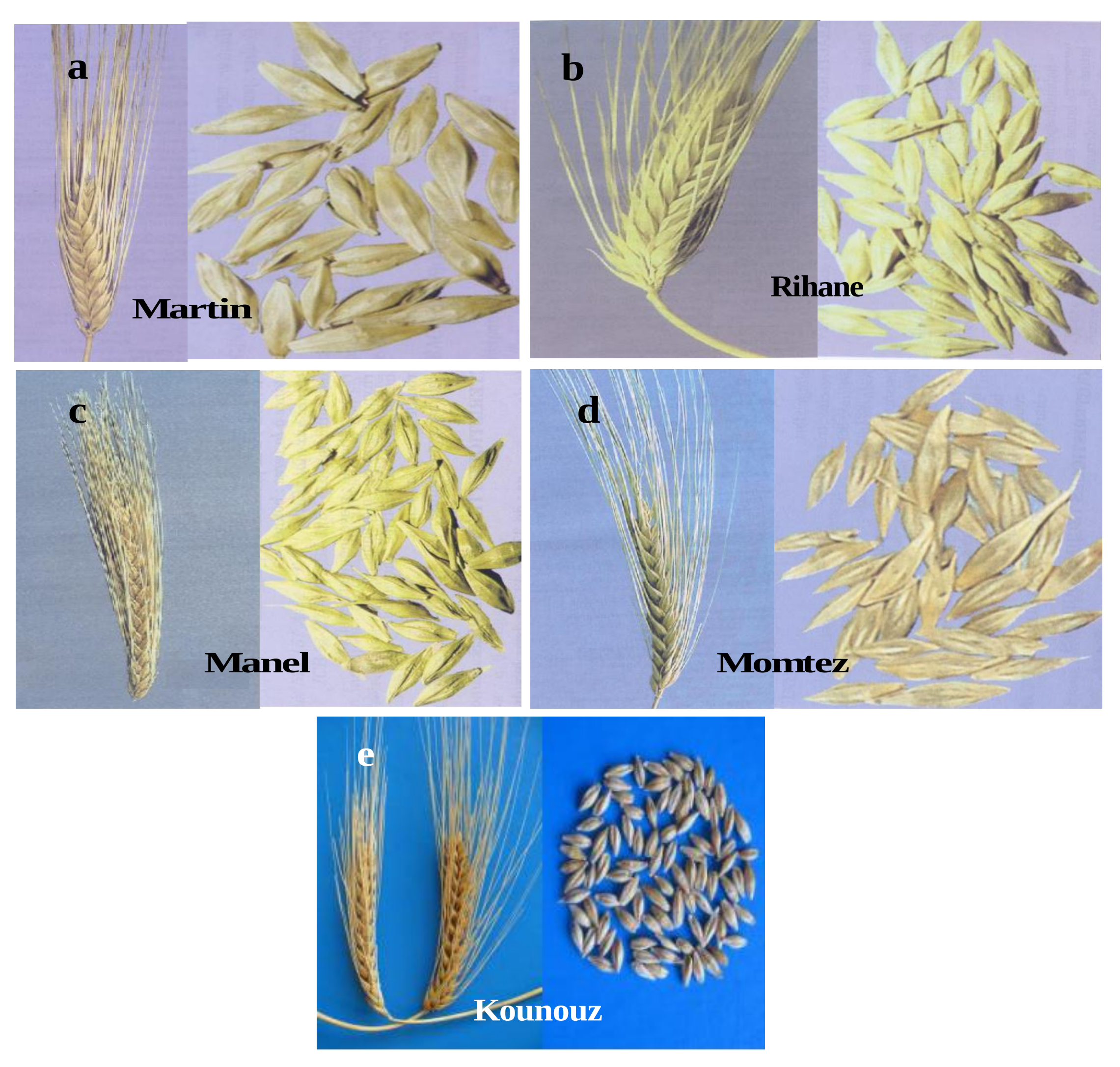


Figure 125. Les variétés d'orge à 6 rangs cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al.*, 2007; IRESA, 2014).

Tableau 46. Caractéristiques des variétés d'orge à 2 rangs cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al*., 2007).

Variété	Caractéristiques
Cérès (Figure 126a)	D'origine Française; Tallage moyen; moyennement tardif; Sensible à la verse et aux maladies; Production moyenne.
Roho (Figure 126b)	Introduit en Tunisie par l'ICARDA; Bon tallage; très précoce; Poids de 1000 grains de 40 g; Poids spécifique: 65 kg/hl; A conduire dans les zones pluvieuses; Dans les sols fertiles sensible à la verse.
Tej (Figure 126c)	D'origine Australienne; Introduit en Tunisie par l'ICARDA; Bon tallage; très précoce; Poids de 1000 grains de 34 g; Poids spécifique: 64 kg/hl; Dans les sols fertiles sensible à la verse et aux maladies.
Faïez (Figure 126 d)	Introduit en Tunisie par l'ICARDA; Tallage très fort; Mi-précoce; Poids de 1000 grains de 34 g; Poids spécifique: 62 kg/hl; Résistance moyenne aux maladies.

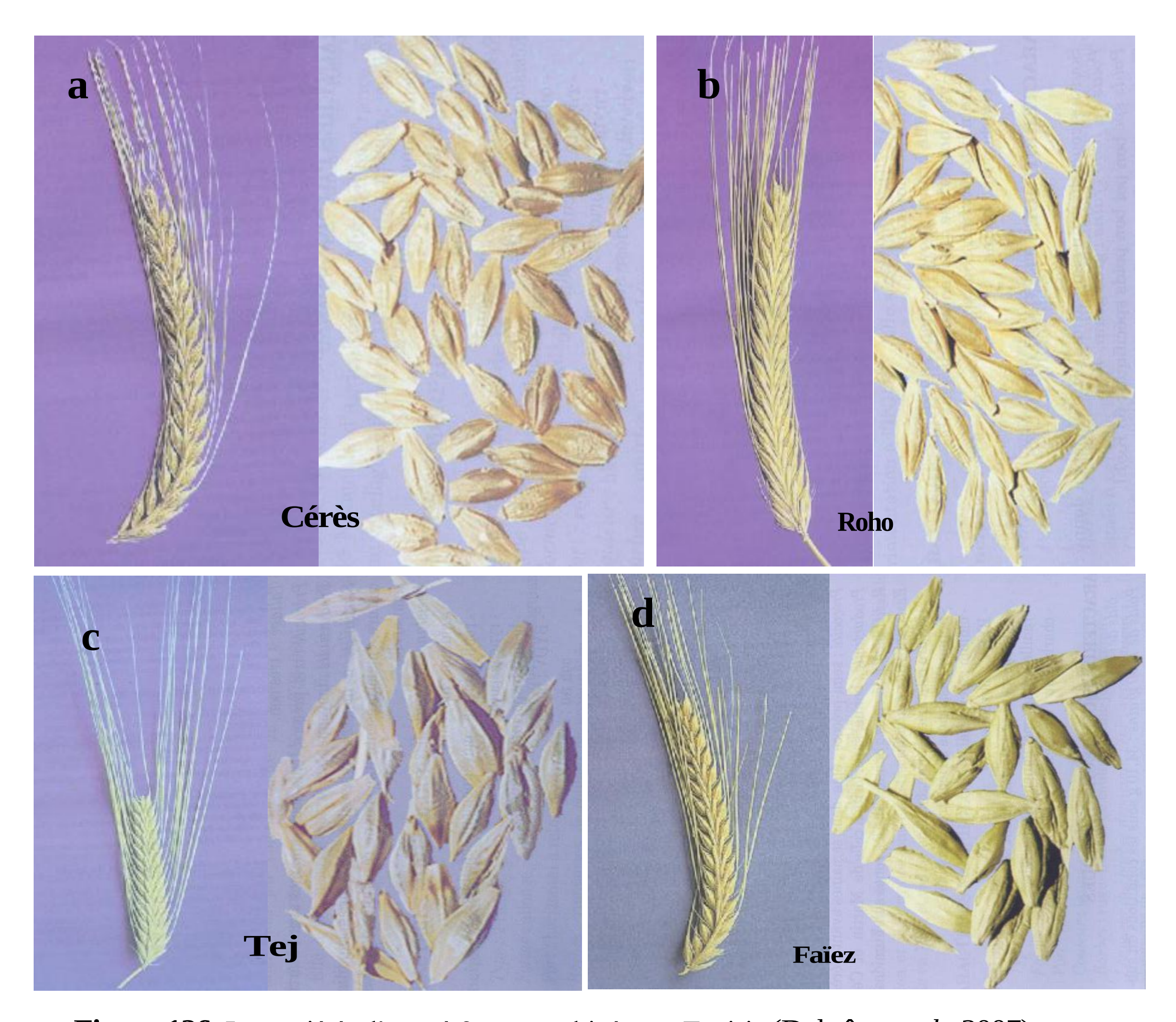


Figure 126. Les variétés d'orge à 2 rangs cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al*., 2007).

2.6. Fertilisation d'entretient

La quantité de la fumure azotée dépend principalement de la destination de l'orge notamment:

- pour l'orge de brasserie, le taux de matière azotée doit être faible. On tend à limiter les apports d'azote et surtout les apports tardifs.
- pour l'orge fourragère, les doses d'azote dépendent en partie de la sensibilité variétale à la verse, du précédent cultural et du type du sol. Dans les sols légers on préconise des doses assez élevées.

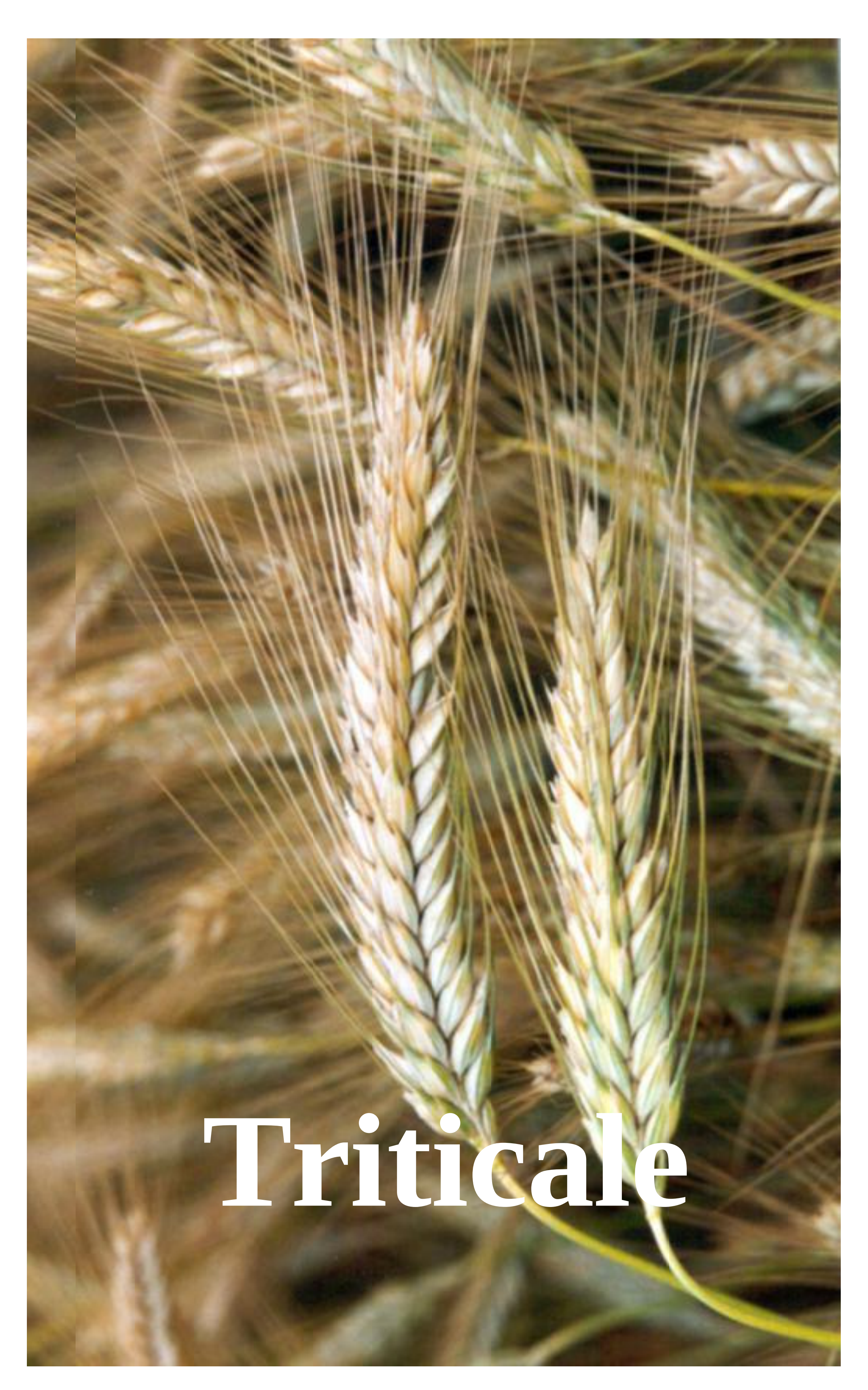
Généralement, on doit effectuer un seul apport de 100 kg/ha d'ammonitrate 33,5 % au semis. Mais si la pluviométrie est supérieure à 400 mm, on ajoute 50 à 100 kg/ha au stade tallage.

2.7. Besoins en eau de la culture

Les exigences de l'orge en eau sont plus réduites que celles du blé. En conditions de sècheresse, l'efficience d'utilisation de l'eau est de 7 à 8 mm/ql d'orge. La consommation en eau de l'orge est estimée à 375 mm avec un seuil minimum de 180 mm pour la production en grains. L'irrigation de la culture d'orge est marginale et n'intéresse que l'orge fourragère.

2.8. Tolérance à la salinité

L'orge tolère la salinité du sol et de l'eau d'irrigation. Certaines variétés, telle que "Mariout", sont cultivées dans les sols salins de diverses régions du monde là où les concentrations de sels dépassent même les 3500 ppm (équivalents Na^+). Cette tolérance est renforcée par une fertilisation en azote équilibrée.



Triticale

3. Triticale

3.1. Introduction

Le blé et le seigle, faisant partie de la sous-tribu *Triticineae*, sont des espèces très similaires du point de vue morphologique et génétique. Ils sont classés sous les genres respectifs *Triticum* et *Secale*. Ces caractéristiques ont incité les agronomes et les généticiens à croiser les deux espèces dans l'objectif d'obtenir la combinaison des qualités boulangère du blé avec la rusticité et l'adaptation du seigle aux conditions abiotiques extrêmes notamment du sol et du climat. Vers la fin des années 1970, les généticiens sont parvenus à obtenir l'hydride *Tritico* X *Secale* ou *Triticosecale Wittm*. Ils ont attribué à cet hybride le nom **Triticale**.

3.2. Importance agroéconomique du triticale

3.2.1. Importance économique

En 2001, à travers le monde, les superficies emblavées en triticale étaient d'environ de 3,1 millions d'hectares. La production en grains, estimée à 11,7 millions de tonnes (MT), provenait de 23 pays, dont les principaux étaient l'Allemagne (3,5 MT), la Pologne (2,7 MT), la Chine (1,65 MT), la France (1,12 MT) et l'Australie (0,8 MT). Le rendement en grains variait de 60 Qx/ha en Allemagne, en Suisse et au Benelux à 13 Qx/ha en Australie et au Portugal.

En Tunisie, au cours de la décennie (2005–2014), la superficie annuelle moyenne emblavée en triticale était de 6 700 ha avec une production moyenne de 121 500 Qx et un rendement moyen de 16,6 Qx/ha (Tableau 47).

Tableau 47. Evolution des superficies emblavées, des productions et des rendements en grains du triticale en Tunisie.

ANNEE	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moy.
Superficies (1000 Ha)	2,7	3,2	5,3	7,4	11	11	7,3	7,1	5,7	6, 6	6,7
Productions (1000 Qx)	50	55,7	105,1	151,9	249,7	208,1	112,3	106,9	62,7	112,3	121,5
Rendements (Qx/ha)	18,9	17,5	19,8	20,6	22,7	18,9	15,3	15,0	10,9	17,1	16,6

3.2.2. Importance agronomique

Le triticale est doté des qualités agronomiques particulières suivantes :

- Il valorise les sols marginaux non favorables pour la culture du blé et de l'orge.
- Comme toutes les céréales, il est doté d'un important système racinaire fasciculé qui améliore les qualités structurales du sol.

- Il se développe convenablement sous des conditions climatiques limitantes pour la culture du blé et de l'orge. Dans les régions soumises aux stress abiotiques, tels que les sècheresses printanière et terminale et les basses températures, la production du triticale est significativement plus élevée que celles de ces deux dernières espèces.
- La biomasse produite par la culture du triticale représente une importante source pour l'alimentation du bétail.

3.2.3. Importance alimentaire

Le triticale est riche en glucides, protides, fibres et éléments minéraux (Tableau 48). Il a une valeur énergétique similaire à celle du blé. Il produit des caryopses, nus, qui ont la même teneur en protéines que le blé; alors que sa teneur en matières azotées totales, est comparable à celle de l'orge et inférieure à celle du blé. En revanche, sa teneur en lysine et en tryptophane est supérieure à celle du blé alors que sa composition pour les autres acides aminés est la même que celle des deux autres espèces. Comme il est panifiable, le triticale joue un rôle de plus en plus important dans l'alimentation humaine.

Tableau 48. Composition en produits azotés et en éléments minéraux de 100 g de farine de triticale

Produits azotés	Quantités (g)	Eléments minéraux	Quantités (mg)
Protéines	13	Calcium	35
Lipides	1,5	Fer	2,6
Glucides	73	Potassium	465
Fibres	14,5	Phosphore	320
		Thiamine	0,4
		Riboflavine	0,1
		Niacine	3

3.3. Semis

Le semis du triticale peut être effectué, selon les variétés et la zone bioclimatique, entre octobre et début de novembre. Dans les régions du nord, le semis est préconisé au cours de la première quinzaine d'octobre; alors que dans les zones du centre et du sud il est recommandé de la deuxième quinzaine d'octobre au début du mois de novembre. La précocité et la densité du semis sont favorables pour l'obtention de rendements en grains élevés. Un semis précoce à une faible densité, entre 180 et 260 grains/m^2, permet d'éviter les risques de la verse.

3.4. Choix variétal

En Tunisie, quatre variétés de triticale, introduites du CYMMIT, sont mises à la disposition des agriculteurs (Tableau 49).

Tableau 49. Caractéristiques des variétés de triticale cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al.*, 2007).

Variété	Caractéristiques
Tcl 8 (Figure 127a)	Paille haute de 1 à 1,2m; Tallage moyen; Très précoce; Poids spécifique de 70 à 75 kg/hl; Poids de 1000 grains: 41 g; Moyennement résistante à la verse; Sensible aux fusarioses.
Tcl 13 (Figure 127b)	Paille haute de 1 à 1,2 m; Tallage moyen; Très précoce; Poids spécifique de 70 à 75 kg/hl; Poids de 1000 grains de 41 g; Moyennement résistante à la verse; Sensible aux fusarioses et à la rouille brune.
Tcl 82 (Figure 127c)	Paille haute: 0,95 m; Tallage moyen; Précoce; Poids spécifique de 70 à 75 kg/hl; Poids de 1000 grains: 41 g; Bonne résistante à la verse.
Tcl 83 (Figure 127d)	Paille haute: 1,2 m; Tallage moyen; Précoce; Poids spécifique de 70 à 75 kg/hl; Poids de 1000 grains: 41 g; Résistante à la verse; Sensible à la rouille brune.

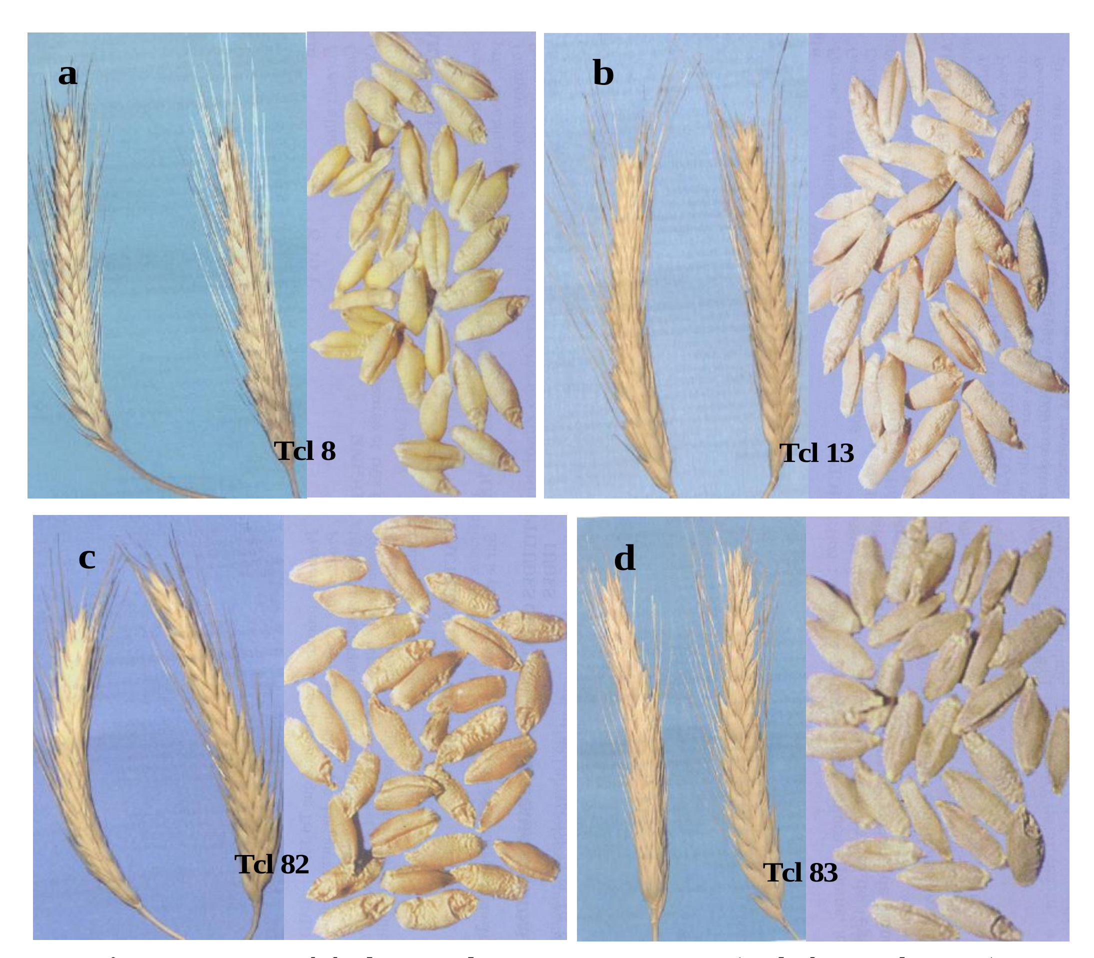


Figure 127. Variétés de triticale cultivées en Tunisie (Dghaîes *et al.*, 2007).

3.5. Exigences culturales

Le triticale est une plante rustique. Grâce à sa souplesse d'adaptation aux conditions du milieu, sous des conditions édapho-climatiques favorables, la culture du triticale résulte à une production plus élevée que celle du blé. Il est doté d'une résistance au froid variable selon les variétés et intermédiaire entre celle du seigle et celle du blé. Ce critère justifie l'emploi du triticale aux dépends de l'orge dans les zones froides ou de hautes altitudes.

Le triticale est également relativement tolérant à l'excès d'eau, et notamment aux fortes pluies durant la fin de la montaison et la maturité. Ceci peut traduire la moindre sensibilité de cette espèce aux maladies et sa maturité moins assujettie aux contraintes climatiques. En revanche, il est sensible à la verse. Des sélections, obtenues à partir des croisements des géniteurs pourvus des gènes de nanisme, particulièrement, les blés mexicains, le seigle nain de printemps et le triticale nain, ont contribué à l'amélioration du rendement en grains, de la valeur nutritive du triticale et de la résistance à la verse et aux maladies.

Le défaut majeur du triticale est sa forte sensibilité à la germination sur pied qui a pour effet de limiter sa culture aux zones humides et aux variétés à maturité précoce.

La rusticité du triticale lui a conféré une grande résistance aux maladies, notamment, l'oïdium, le piétin verse et le piétin échaudage. Par contre il est sensible aux rouilles, principalement la rouille brune, aux Septorioses et à la fusariose. Ceci lui a permis de succéder sans risque majeur à une autre céréale.

3.6. Récolte

La culture du triticale a une double fin, à savoir la production de la biomasse verte et la production des grains. Avec un semis d'automne, la maturité des grains a lieu après 10 mois de la date du semis, soit au mois de juillet. La récolte fournit un produit sec avec un taux de matière sèche (MS) de l'ordre de 85 % et un rendement en paille de 6 à 11 tonnes MS/ha. Le rendement en grains varie de 60 à 100 Qx/ha.

La récolte, au stade grains laiteux pâteux, destinée pour l'ensilage, peut fournir une biomasse de 10 à 15 tonnes/ha. Néanmoins le produit récolté a un taux de matière sèche relativement faible, de l'ordre de 35 à 45 % présente des problèmes de conservation.


Avoine

4. Avoine

4.1. Importance économique

A travers le monde, les plus importants pays producteurs d'avoine sont: l'Union européenne, la Russie (URSS), le Canada et les États-Unis avec une production moyenne annuelle (2008-2010) de 28,64 millions de tonnes (AAC, 2010).

En Tunisie, les superficies annuelles moyennes emblavées en avoines sont de l'ordre de 160 000 ha. Les besoins en semences sont de l'ordre de 19 000 tonnes. La production en grains d'avoine était de 25 200 tonnes en 2009-2010 contre 40 000 tonnes en 2008-2009.

Les bienfaits de l'avoine et ses produits dérivés sur la santé humaine sont bien connus. Elle contient une grande quantité d'éléments nutritifs, notamment, des fibres alimentaires, du bêta-glucane, des protéines (16-18 %), des acides gras non saturés, des vitamines du complexe B, des sels minéraux et des antioxydants. Le pain fabriqué à 100 % de la farine d'avoine est tolérée par la plupart des personnes atteintes de la maladie « coeliaque » (AAC, 2012).

Sur le plan industriel, des recherches actives ont permis l'obtention d'un édulcorant naturel qui peut substituer le saccharose à base de maïs en raison de son lien avec l'obésité (AAC, 2012).

Autrefois, l'avoine brute servait, principalement à l'alimentation des animaux en vert sous forme d'ensilage ou en sec sous forme de fourrage. Par la suite, elle ne représente plus l'aliment de base pour les animaux. Elle est remplacée par le maïs et l'orge.

Comme, les grains d'avoine peuvent servir pour l'alimentation humaine. Seulement, vu qu'elle présente une moindre valeur énergétique et que ses grains ont des enveloppes "pailleuses", son usage dans cet objectif demeure moins intensifiée que celui du blé tendre et de l'orge.

4.2. Biologie de l'avoine

L'avoine, une céréale annuelle, comprend trois groupes qui se distinguent par leur stock chromosomique à savoir: diploïde (2n = 14); tétraploïde (2n = 28) et héxaploïde (2n = 42). La plus part des génotypes d'avoine cultivée sont héxaploïdes et appartiennent aux espèces: *Avena sativa* et *Avena nuda*.

4.2.1. *Avena sativa* L.

Elle représente 99 % de la production mondiale d'avoine. C'est une espèce annuelle, ayant un métabolisme en C_3, hexaploïde (2n=42), autofécondée. Toutefois, certaines variétés ont des taux de fécondation croisée élevée à cause de la présence de fleurs hermaphrodites protogynes (= le pistil arrive à maturité avant les étamines). Les grains sont vêtus. Les glumelles, noires, jaunes ou blanches n'adhèrent pas à l'amande comme dans le cas de l'orge, mais elles ne s'en séparent pas à la récolte comme chez le blé.

4.2.2. *Avena nuda* L,

Dite encore avoine nue, elle est cultivée en Méditerranée orientale et en Asie Mineure. Elle est considérée du même groupe qu'*Avena sativa* vu qu'elle partage le même génome avec cette dernière. Les panicules sont peu denses et les caryopses ont tendance à se détacher des glumelles à la maturité et au battage.

4.3. Caractéristiques biologies de l'avoine

L'avoine se distingue des autres céréales par:

⇒ **Feuilles:** Elles sont de couleur vert foncé et rugueuses au touché et dépourvues de stipules (Figure 128). Les premières feuilles sont couvertes de poils fins qui deviennent de moins en moins importants au niveau des feuilles supérieures pour disparaître totalement au niveau de la feuille drapeau.

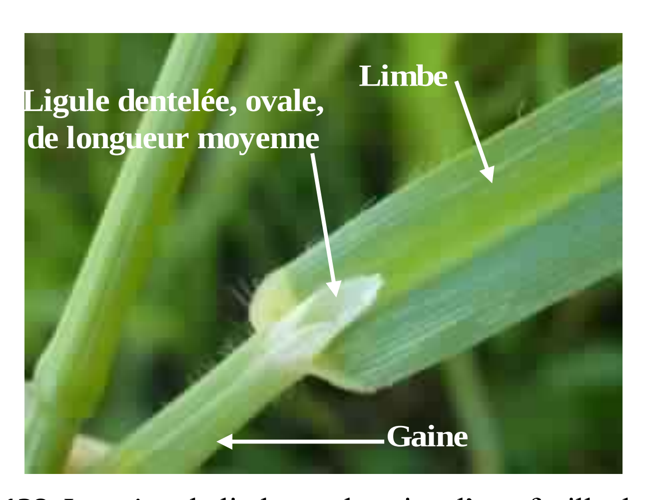


Figure 128. Insertion du limbe sur la gaine d'une feuille de l'avoine.

⇒ **Système radiculaire:** Il est fasciculé et plus profond que celui de l'orge et du blé.

⇒ **Tallage:** Il est plus faible que celui de l'orge. Chaque plant d'avoine développe, selon les génotypes, entre 3 et 10 chaumes ou talles. L'avoine a une croissance

déterminée qui se termine à une hauteur maximale de l'ordre de 1,60 m par une inflorescence ou panicule branchée à l'apex de chaque chaume fertile.

⇒ **Inflorescence:** C'est une panicule lâche formée de grappes d'épillets portés par de longs pédoncules ou racèmes qui apparaît chez les variétés hâtives 40 jours après la germination (Figure 129). Elle est composée d'un rachis primaire et de rachis secondaires sur lesquels sont insérés des épillets dont les deux glumes enveloppent généralement deux fleurs hermaphrodites fertiles (Figure 129). Chaque fleur hermaphrodite est protégée par deux glumelles (palea et lemma) et comprend un ovaire possédant un seul ovule, un stigmate divisé ou bifide, plumeux et trois anthères. A la suite de l'autofécondation, généralement par cléistogamie, il y a formation d'un caryopse allongé (Figure 129).

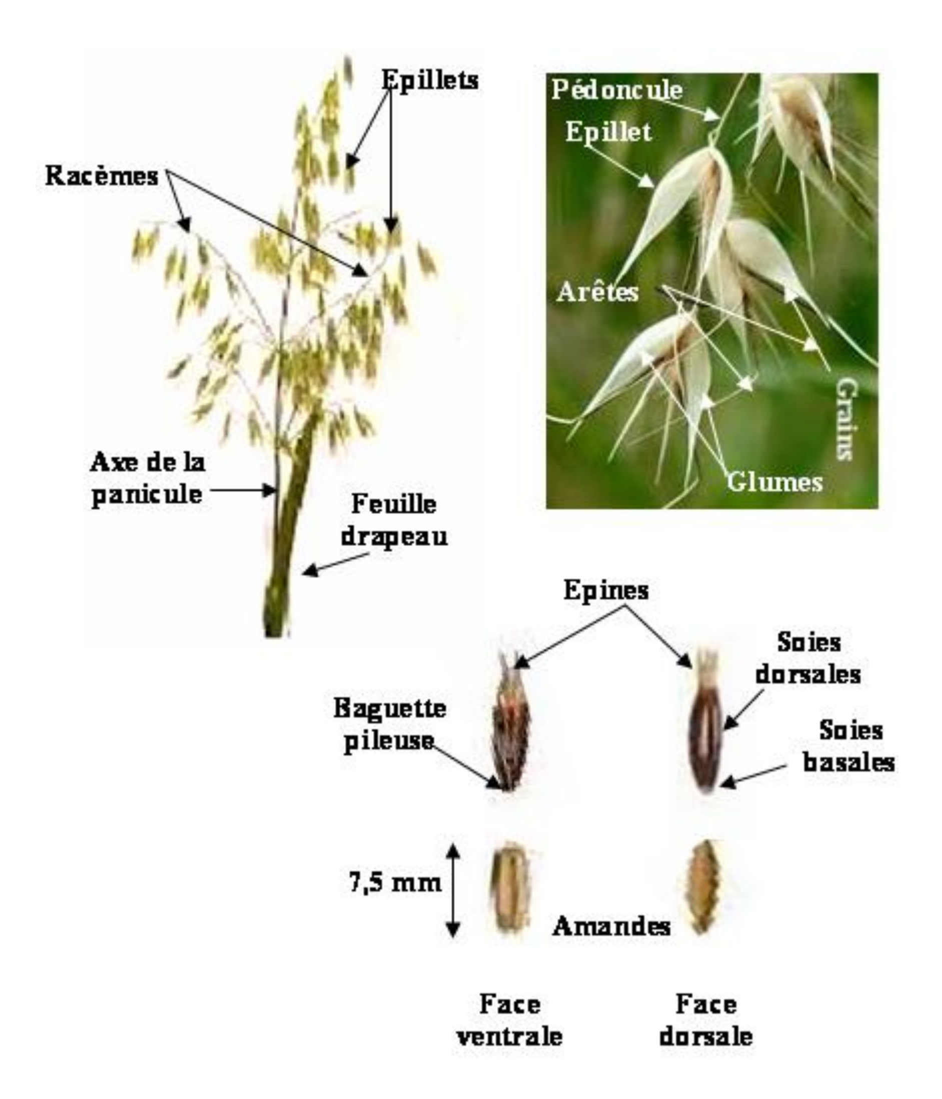


Figure 129. Appareil reproducteur d'un plant d'avoine.

4.4. Exigences édaphiques et climatiques

L'avoine est une espèce de jour long. La durée de la phase levée-épiaison décroît constamment avec l'allongement du jour jusqu'à un minimum caractéristique de la variété. Elle est rustique et tolère les sols pauvres, et acides. C'est la céréale idéale pour les sols lourds et humides dans lesquels le blé souffre de l'asphyxie hivernale. Elle est plus sensible au froid que l'orge et le blé. La germination est nulle à une température (T) de 0 °C. Elle est ralentie si T ≤ 6 °C. Les germes dépérissent si T ≤ -10 °C. Les exigences hydriques de l'avoine sont plus importantes que celles de l'orge et du blé. Ceci a fait, qu'en Tunisie, la culture de cette espèce reste limitée aux régions du Nord. Elle est peu résistante à la verse et craint l'échaudage provoqué par la sècheresse terminale. Elle a une tolérance à la salinité plus élevée que celle du blé et de l'orge.

4.5. Place de l'avoine dans l'assolement

Généralement, elle vient en tête d'assolement en association avec la vesce, avant le blé et les légumineuses à graines. Elle libère le sol avant les pluies printanières tout en laissant, pour les cultures suivantes d'importantes réserves en eau et en matière organique. Pour la production en grains, l'avoine vient à la fin du cycle d'assolement. Comme exemples d'assolements, on préconise:

- Jachère non travaillée – Blé – Avoine;
- Légumineuses à graines - Blé – Avoine;
- Betterave sucrière - Blé – Avoine – Fourrage.

4.6. Fertilisation

Comme pour toutes les autres céréales, la fertilisation de la culture d'avoine obéit à la règle d'analyse du sol pour déterminer les quantités disponibles en éléments fertilisants. Seulement, on pourrait proposer comme apports:

- 100 à 250 kg/ha d'ammonitrate 33.5 %
- 100 à 200 kg/ha de super phosphate 45 %.

4.7. Semis

4.7.1. Date de semis

La date de semis dépend du type de production à savoir graines ou fourrage (Tableau 50).

Tableau 50. Date de semis de l'avoine en fonction des types de production.

Production	Date de semis
Fourrage	Selon les précipitations: Octobre – Début Novembre
Grains	Début Novembre tout en débutant par les variétés tardives.

4.7.2. Densité de semis

Elle dépend du peuplement par hectare et du poids de 1 000 grains (Tableau 51).

Tableau 51. Quantités de semences d'avoine en fonction de la densité de semis et du poids de 1000 grains.

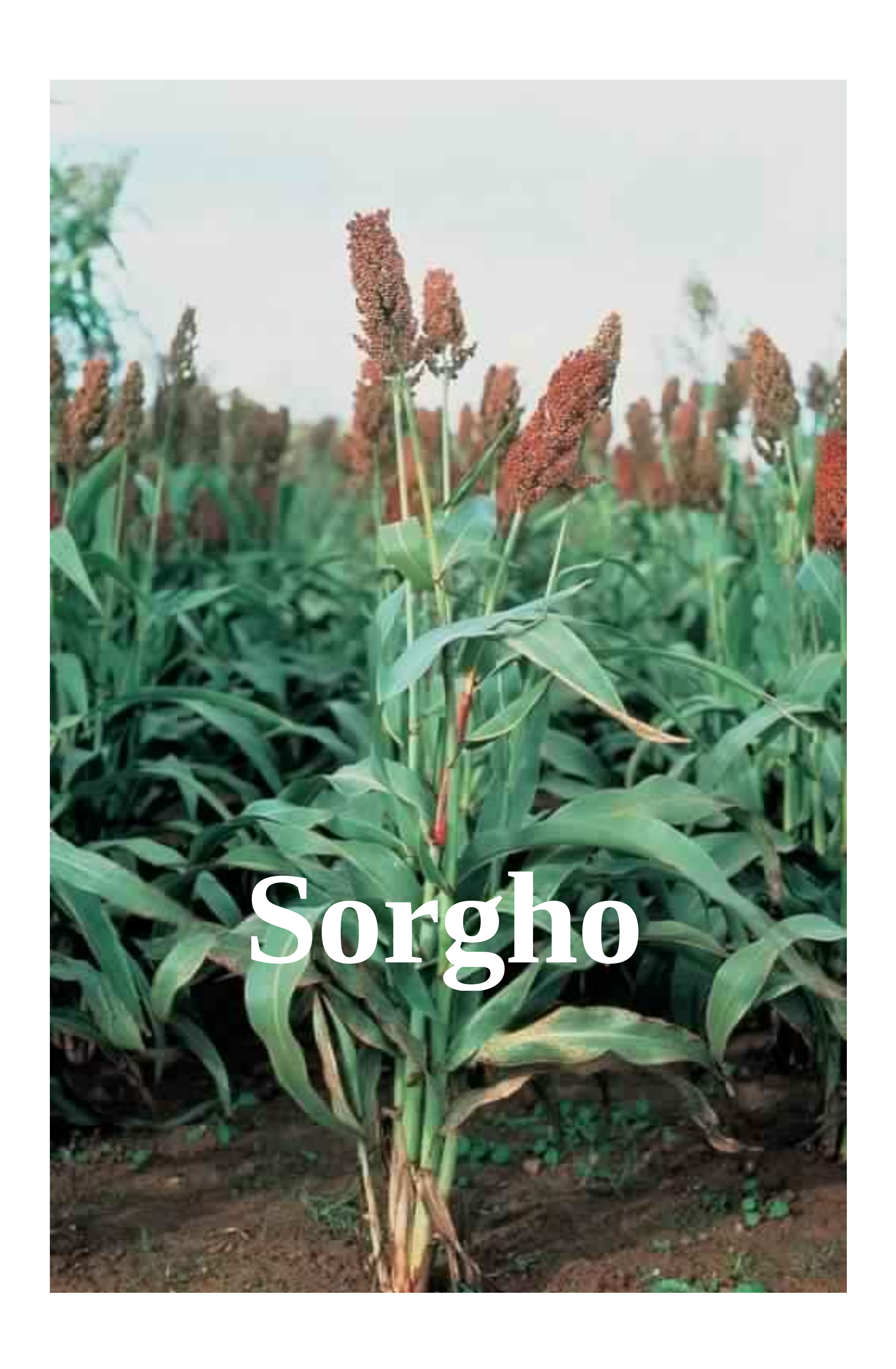
Densité de semis (grains/m^2)	Poids de 1000 grains (g)			
	25	30	35	40
	Doses de semis (kg/ha)			
250	**63**	75	88	**100**
300	**75**	90	105	**120**

4.7.3. Choix variétal

Cinq variétés d'avoine sont cultivées en Tunisie (Tableau 52).

Tableau 52. Caractéristiques des variétés d'avoine cultivées en Tunisie.

Variétés	Caractéristiques
Avon	Précoce d'origine Australienne; Résistant à la verse; Destiné pour la production en grains et de fourrage.
Crème	Mi–précoce; Moins résistant à la verse et à la sècheresse; Destiné pour la production de fourrage.
Swan	Précoce; Destiné pour la production en grains et de fourrage.
Avoine $_3$	Mi–précoce; Résistant à la verse; Sensible à l'oïdium; Destiné pour la production de fourrage.
Avoine $_{14}$	Tardif; Résistant à la verse;



Sorgho

5. Sorgho

5.1. Généralités

Le sorgho ou gros mil constitue le genre *Sorghum* de la tribu des *Andropogonées* et de la famille des Poaceae. Il est originaire des régions tropicales humides de l'Afrique et très adapté aux zones tropicales et méditerranéennes. C'est une graminée de jour court. Plus les jours sont courts, plus sa floraison est accélérée. Il est doté d'un métabolisme en C_4 qui lui confère une efficience photosynthétique élevée. La culture du sorgho a des avantages et des inconvénients (Tableau 53).

Tableau 53. Avantages et inconvenants de la culture du sorgho.

Avantages	Inconvenants
⇒ Il a un potentiel de production élevé sous des conditions pédoclimatiques favorables,	⇒ Ses besoins thermiques sont élevés;
⇒ Une efficience d'utilisation de l'eau et des éléments minéraux élevée qui lui permet une excellente adaptation aux conditions de stress abiotiques.	⇒ Très sensible à la verse;
	⇒ Le sorgho grains a une faible masse volumique;
⇒ C'est une culture annuelle. Son cycle biologique court facilite son insertion dans la rotation des cultures.	⇒ Le nombre de variétés de sorgho fibre est très restreint;
	⇒ Le tanin contenu dans les grains nuit à la digestibilité.

Les grains de sorgho sont riches en glucides, lipides, protides, fibres, sels minéraux notamment en potassium et en phosphore et en vitamines à l'exception de la vitamine (A).

Le sorgho grains est utilisé pour la fabrication de la farine pâtissière et/ou boulangère et en brasserie. Le jus sucré de la tige peut servir à la production de l'éthanol. La biomasse aérienne du sorgho sert à l'alimentation du bétail à l'état vert sous forme de fourrage, ensilage ou pâturage. Avant le stade floraison, toutes les espèces de sorgho synthétisent un glucoside générateur de l'acide cyanhydrique et la durrhine qui sont responsables d'intoxications mortelles de bétail. Pour cette raison, le pâturage du sorgho devrait être reporté après la floraison. D'autres usages du sorgho à caractères industriels sont préconisés.

5.2. Importance économique

A travers le monde, le sorgho est la céréale la plus cultivée après le blé et le riz. La production mondiale annuelle moyenne en sorgho grains est de l'ordre de 60,1 millions de tonnes. Les exportations annuelles moyennes sont de l'ordre de 7 millions de tonnes. Les

principaux pays producteurs, exportateurs et importateurs du sorgho grains sont énumérés (Tableau 54).

Tableau 54. Principaux pays producteurs, exportateurs et importateurs du sorgho grains.

Pays producteurs	Pays exportateurs	Pays importateurs
États-Unis	États-Unis	Mexique
Nigeria	Argentine	Japon
Inde	France	Espagne
Mexique	Chine	Afrique du Sud
Soudan	Soudan	Chili
Chine	s Pays-Bas	Belgique
Argentine	Australie.	Chine

En Tunisie, le sorgho est cultivé principalement pour la production fourragère. Durant la décennie 2000-2010, les emblavures moyennes en sorgho fourrager ont atteint une superficie de 15 000 ha pour une production de 513 000 tonnes de fourrage.

5.3. Classification des sorghos

5.3.1. *Sorghum sudanense*

C'est une espèce vivace de pâturage dénommée parfois *Sorghum halepense* dont le nombre chromosomique 2n varie de 20 à 40. Il est considéré comme étant l'ancêtre du sorgho à grains (*Sorghum bicolor* ssp. *Sudanense*). Il a des morphologies très variables avec des ports variant du prostré à l'ériger. Il se multiplie par voie végétative ou rhizomes et produit des panicules relâchées et peu denses.

5.3.2. *Sorghum bicolor* L.

Il représente une grande variabilité génotypique et phénotypique. Cette plasticité a permis de sélectionner différents types de sorgho, notamment: sorgho grains, sorgho fourrager et sorgho fibre.

5.3.3. *Sorghum bicolor* ssp. *Sudanense*

Son nombre chromosomique (2n=20), il regroupe quatre races biologiques évoluées. Ces dernières représentent des espèces annuelles, de grande taille, à tige juteuse plus ou moins sucrée. Elles sont cultivées pour leurs fruits et leurs parties végétatives. Sous l'effet des croisements naturels et provoqués par l'homme, de nombreuses variétés intermédiaires ont été produites. Il est parfois difficile d'attribuer certaines variétés à une race particulière. On y distingue:

- **Le sorghos grains**, dont les espèces cultivées sont S. *durra*, S. *subglabrescens* et S. *caffrorum*. Ce sont des plantes annuelles, de hauteurs variant de1 m

à 1,5 m, productives, résistantes à la sècheresse et adaptées à l'alimentation animale et/ou humaine;

- **Le sorgho fourrager**, destiné pour l'alimentation animale, comprend les espèces cultivées S. *vulgare et S. bicol*or qui sont vivaces, de 3 m de haut et sont coupées sur pied.

- **Le sorgho à sirop ou à sucre** dont l'espèce cultivée est *S. dochna* variété *saccharum*. Il a une taille très élevée qui peut dépasser 5 m de haut et de grosses tiges juteuses et sucrées;

- **Le sorgho fibre ou à balais**, dont l'espèce cultivée est *S. dochna* variété *technum* qui sert à la fabrication des balais Sa tige a une hauteur plus de 3 m. Il est caractérisé par un pédicelle très long qui porte à son extrémité une panicule rallongée de longues tiges raides ressemblant à de la paille qui sert pour la fabrication des balaies, de revêtements des panneaux de construction et des emballages biodégradables.

5.4. Biologie du sorgho

Un plant de sorgho est anthocyané, souvent photosensible et caractérisé par son tallage. Il est composé de:

⇒ **Le système radiculaire** est profond et fasciculé lui conférant une tolérance à la sècheresse plus élevée que celle du maïs (Figure 130)

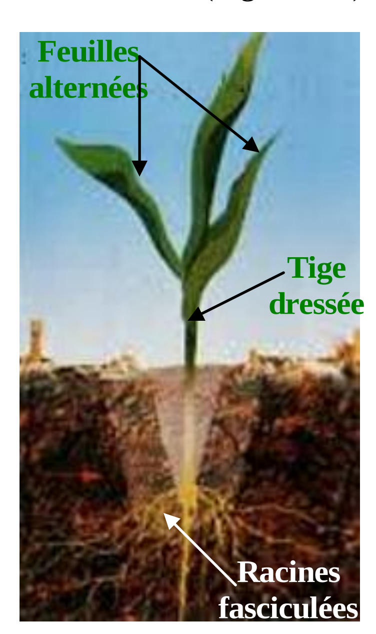


Figure 130. Plant de sorgho avec un système racinaire profond et fasciculé, une tige dressée et des feuilles alternées.

⇒ **La tige** est dressée ayant une hauteur variant de 0,50 à 1,20 m (Figure 130).

⇒ **Les feuilles** sont allongées, étroites et glabres ayant une position alternée sur la tige (Figure 130).

⇒ **L’inflorescence ou panicule** de taille très variable, assez compacte ou plus ou moins lâche qui se développe à l'extrémité de la tige (Figure 131). Les épillets, composés par des fleurs doubles, sont groupés en deux ou trois aux extrémités des ramifications. Dans chaque groupe, l’épillet de base est fertile et sessile; alors que les épillets latéraux sont stériles. Chaque épillet fertile ne comporte qu’une seule fleur. La pollinisation est généralement autogame. Néanmoins, il n’y a pas de barrières génétiques antagoniques à une fécondation croisée qui peut atteindre parfois 15 %. L’existence d’individus mâle stériles a permis aux sélectionneurs de créer des lignées mâles stériles;

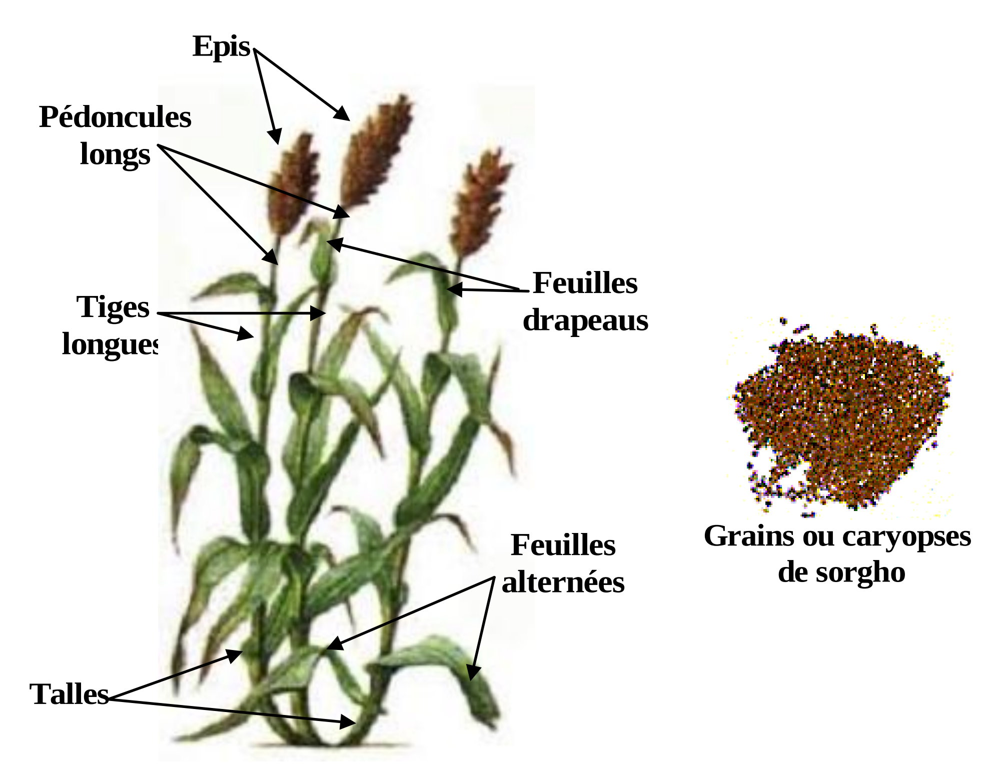


Figure 131. Plant de sorgho avec inflorescence et grains ou caryopses.

⇒ **Les caryopses ou amandes** assez petites, de 4 mm de long, renferment environ 10,5 % de protéines et de 1,6 à 1,8 % de cellulose (Figure 131). La forme et la couleur sont variables selon les types et les génotypes de sorgho. La forme peut être globuleuse ou elliptique. Les couleurs sont très diverses allant du blanc au noir avec toutes les nuances intermédiaires.

5.5. Exigences thermiques du sorgho

Le sorgho est une espèce rustique qui a l’avantage de supporter les hautes températures. Il pousse bien dans les régions à climat chaud ou tempéré. Ses exigences thermiques sont élevés Le zéro de germination est de l’ordre de 10 °C et la température de croissance optimale est de 30 °C. A une température de 10 °C, la croissance des plantes est lente.

5.6. Besoins hydriques du sorgho

Par comparaison au maïs, le sorgho est tolérant à la sècheresse. Les besoins en eau d'irrigation du sorgho, de l'ordre de 600 mm, sont moins importants que ceux du maïs qui sont de l'ordre de 1 300 mm. Dans les régions humides et subhumides, il peut se passer d'irrigation. Cette tolérance au déficit hydrique est du à certaines caractéristiques spécifiques du sorgho, notamment, la présence d'une cuticule cutinisée et cireuse sur les limbes foliaires, des stomates de petites tailles, une surface foliaire assez réduite et un système radiculaire profond et fasciculé. Toutefois, aux stades gonflement et grain laiteux la culture présente une sensibilité au manque d'eau. A l'inverse, elle présente l'avantage de se développer même si le sol est gorgé d'eau.

5.7. Tolérance au calcaire et à la salinité

Le sorgho tolère la salinité des eaux d'irrigation et les sols calcaires. Les expériences ont montré qu'à une concentration de 3,5 g/l de sel dans les eaux d'irrigation, les pertes du rendement en grains ne dépassent pas 25 %. A une teneur de 6 g/l, le rendement en matière fraîche pourrait atteindre 60 tonnes/ha. Cependant, les eaux d'irrigation chargées en sels détruisent la structure et la texture du sol. Pour remédier à ces inconvénients, il serait utile de faire des apports massifs de matière organique et de pratiquer le drainage. De même, il faudrait éviter l'irrigation par aspersion qui provoque des brûlures sur la végétation.

5.8. Rotation culturale

Le sorgho peut venir en tête d'assolement. Comme il peut faire suite à une céréalière telle que l'avoine, l'orge en vert, le ray-grass, ou une légumineuse telle que le bersim, la fève, la fèverole, le petit pois…

5.9. Fertilisation

La production d'un quintal de grains de sorgho occasionne l'exportation de 2,6 kg d'azote, 1,3 kg de phosphore et 3,1 kg de potasse. Cependant l'enfouissement des résidus de culture restitue au sol les trois quarts des quantités exportées. Ceci impose qu'avant toute fertilisation minérale, il faudrait avoir une idée sur l'état de fertilité du sol. En cas de nécessité, il est recommandé de faire les apports suivants:

- 20 à 30 t/ha de matière organique associés à 20 unités/ha d'azote, soit 60 kg/ha d'Ammonitrate $_{33,5\ \%}$ ou 43 kg/ha d'Urée ou 74 kg/ha de Sulfo-nitrate d'ammonium;
- 100 à 200 kg/ha de superphosphate $_{45\ \%}$;
- 100 kg/ha de sulfate de potasse $_{48\ \%}$.

Après chaque coupe du sorgho fourrager, il faudrait apporter 33 unité/ha d'azote, soit 100 kg/ha d'Ammonitrate $_{33,5\ \%}$ ou 72 kg/ha d'Urée ou 124 kg/ha de Sulfo-nitrate d'ammonium.

5.10. Semis

5.10.1. Date du semis

Le sorgho est une plante de jour court. Si la longueur du jour est supérieure à 16 h, la culture n'entre pas en floraison. Le cycle biologique, variant de 90 à 140 jours, est d'autant plus court que la date de semis est tardive dans l'année. En revanche, un semis précoce, avant que la température du sol soit supérieure à 12° C, peut entraîner des difficultés de démarrage de la culture. Toutefois, la date propice du semis, qui permet d'avoir un cycle de développement suffisamment long, est vers la fin mars - début avril.

5.10.2. Dose et densité de semis

En raison de la petite taille des grains et leur faible énergie germinative, les pertes à la levée sont souvent importantes et peuvent atteindre, selon les cas, 10 à 50 %. Les semences doivent être de la production écoulée. La dose du semis varie de 25 à 30 kg/ha. Une densité variable selon les zones bioclimatiques de 15 à 20 plantes/m^2 permet un bon compromis entre une productivité élevée de bonne qualité et un risque de verse minimum.
En fait, un semis dense du sorgho fourrager occasionne la formation de tiges grêles appétissantes pour le bétail; alors qu'un semis de faible densité engendre des tiges charnues recherchées pour l'ensilage.

Le semis peut être effectué avec un semoir pneumatique monograine**,** avec un écartement de 75 à 80 cm, ou bien avec un semoir à céréales avec un écartement mini entre les lignes de 34 cm. La profondeur de semis doit être de 2 à 3 cm.

5.11. Chois variétal

Les sélectionneurs ont développé des hybrides nains de sorghos grains dont la hauteur est de l'ordre de 1 m et qui peuvent être récoltés à la moissonneuse-batteuse. Les recherches actuelles s'attachent à améliorer la résistance aux stress biotiques et abiotiques et les rendements en grains et en fourrage en quantité et en qualité. Le choix variétal est principalement basé sur la précocité, la productivité, la résistance à la verse, l'attirance par les oiseaux et l'aptitude à la récolte mécanisée.

5.11.1. Sorgho grains

La plus part des variétés cultivées, d'origine Américaines, sont des hybrides F_1 résultants du croisement d'une lignée mâle stérile avec une lignée mâle fertile. Les sorghos grains sont répartis en deux groupes:

- variétés précoces telles que INRA 450, NK 120, NK 130;
- variétés tardives destinées pour la culture dans les régions méditerranéennes telles que: AKS 614; Dekalb D 50; NK 26.

5.11.2. Sorgho fourrager

Les Sorghos fourragers correspondent à *S. vulgare*, var. *sudanens* ou à l'hybride (Sorgho x Sudan). Ils doivent leur intérêt à leur résistance à la sècheresse, à leur productivité élevée et à l'aptitude de certains d'entre eux, notamment, *Sudangrass* et certains hybrides à la réponse favorable après la coupe. Ils sont bien adaptée aux zones subhumides et semi arides Tunisiennes. On y distingue:

- **Sudan-grass commun**: variété précoce, apte à la reprise de croissance après la coupe, tolérante à la sècheresse, fournit un fourrage de bonne qualité, utilisation en vert ou en fourrage, de faible productivité et renferme une substance toxique.
- **Sudan-grass piper**: variété précoce, apte à la reprise de croissance après la coupe, tolérante à la sècheresse, fournit un fourrage de bonne qualité, favorable pour tout usage, productive, dépourvu de substance toxique.
- **Sweet sioukes:** variété précoce, apte à la reprise de croissance après la coupe, sensible à la sècheresse, fournit un fourrage de bonne qualité, utilisation en vert, comme fourrage ou en ensilage, de faible productivité et dépourvu de substance toxique.
- **Rosso Lombardo**: variété tardive, productive, de faible capacité à la reprise de croissance après la coupe, tolérante à la sècheresse, fournit un fourrage de faible qualité, utilisation en vert et en ensilage, renferme une substance toxique.
- **Arpal et Argence** sont des hybrides


Maïs

6. Maïs (*Zea mays*)

6.1. Origine

Le maïs, dénommé encore blé indien, blé de Turquie, blé de Barbarie…, n'existe pas à l'état sauvage. Il est probablement originaire des régions équatoriales telles que le Mexique, l'Amérique Centrale, le Venezuela, la Colombie; le Pérou, le Chili, le Brésil....

6.2. Importance agro-économique du mais

6.2.1. Importance agronomique

Le maïs est doté de certains avantages, notamment:

- l'incorporation et la décomposition des résidus de culture du maïs dans le sol améliorent la fertilité de la parcelle.
- le maïs, une culture sarclée, peut être adopté comme culture nettoyante..
- comme il produit une importante biomasse aérienne, le maïs pourrait être coupé et exploité comme engrais vert.
- le maïs fourrager, exploité à l'état frais sous forme de fourrage ou d'ensilage, ainsi que les résidus de culture favorisent l'engraissement bovin et ovin.

6.2.2. Importance économique

A travers le monde, le maïs occupe la troisième position après le blé et le riz. Durant la décennie 2005/2014, il a été cultivé sur une superficie annuelle moyenne de 159,2 millions d'hectares avec une production moyenne annuelle 807,4 millions de tonnes et un rendement en grains moyen de 50,6 Qx/ha (Tableau 55). Les plus importants pays producteurs de maïs sont les Etats-Unis; la Chine; le Brésil; l'Union Européenne; l'Ukraine; l'Argentine; l'Inde; le Mexique; le Canada et l'Afrique du Sud (CIC, 2014).

Tableau 55. Superficies emblavées, productions et rendements en gains de maïs obtenus à l'échelle mondiale durant la décennie (2004-2014) (CIC, 2014)

	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	Moy.
Surface (Million ha)	145	142,9	147,3	158,4	157,5	157,3	163,5	169,7	175,1	175,3	**159,2**
Production (Million t)	713,4	697,8	711	797	799,9	821,3	830,6	876,6	861,1	965,2	**807,4**
Rendement (Qx/ha)	49,2	48,8	48,3	50,3	50,8	52,2	50,8	51,7	49,2	55	**50,6**

Les principaux pays exportateurs de maïs grains sont le Brésil; les Etats-Unis; l'Argentine; l'Ukraine; l'Afrique du Sud; le Canada et la Chine; alors que principaux pays

importateurs sont le Japon; l'Union Européenne; le Mexique; la Corée du Sud; l'Egypte; l'Iran; la Chine; la Colombie; le Taiwan et l'Algérie (Tableau 56).

Tableau 56. Principaux pays producteurs et pays importateurs de maïs durant la compagne agricole 2013/2014 (CIC, 2014).

Pays producteurs	Millions de tonnes	Pays importateurs	Millions de tonnes
États-Unis	354	**Japon**	15,3
Chine	218	**Union Européenne**	14,4
Brésil	77	**Mexique**	9,5
Union Européenne	65	**Corée du Sud**	8,5
Ukraine	31	**Egypte**	7,4
Argentine	24	**Iran**	5
Inde	23	**Chine**	4,8
Mexique	22	**Colombie**	4,5
Canada	14	**Taiwan**	4,3
Afrique du Sud	14	**Algérie**	3,3

En Tunisie, la culture du maïs fourrager couvre une superficie moyenne de 4 000 ha/an pour une production moyenne de 141 000 tonnes avec un rendement moyen de 35 tonnes/ha de fourrage.

Durant la décennie, 2005/2014, la Tunisie a importé 3 083 Tonnes/an de maïs grains (CIC, 2014).

6.2.3. Utilisations du maïs

A travers le monde, le maïs a de nombreux usages, à savoir:

6.2.3.1. Alimentation humaine

Le maïs constitue un aliment de base de nombreuses populations. En fait, le tiers de la production mondiale de maïs grains est réservé pour l'alimentation humaine. Il est riche en Protides (9 %), Lipides (3,9 %) et en Carbohydrates (72,2 %). Néanmoins, un régime alimentaire très riche en maïs peut provoquer une maladie cutanée liée à une carence en vitamine PP.

6.2.3.2. Alimentation animale

A travers le monde, les deux tiers de la production mondiale de maïs grains sont destinés pour l'alimentation des animaux en l'occurrence, les bovins, les volailles, les porcs... Toutefois, le maïs est pauvre en protéines, en lysine et en méthionine. La ration alimentaire du bétail doit être corrigée avec des produits riches en azote.

6.2.3.3. Industries

Le maïs a de multiples débouchés industrielles, notamment:

- l'industrie agro-alimentaire (biscuiterie, pâtisserie, brasserie, distillerie, etc.),
- l'huile de maïs, extraite à partir des germes, est utilisée en alimentation humaine,
- les produits industriels: plastic biodégradable, biocarburant, papier, peintures, détergents, colles...

⇒ les liqueurs (gin et whisky) obtenus par distillation du maïs,

- les produits pharmaceutiques (antibiotiques) et cosmétiques (crèmes de beauté, dentifrice...),

6.3. Classification des maïs

Le maïs a un nombre chromosomique 2n = 20. Il appartient à la classe des monocotylédones, la sous-classe des Commelinidaes, l'ordre des Cypérales, la famille des Poacées (ou Graminées), la sous-famille des Panicoïdées et la tribu des Myadées (Figure 1).

6.4. Caractéristiques botaniques

Le maïs, une graminée monoïque herbacée annuelle, est une unique espèce dans le genre *Zea*. Cette espèce renferme des centaines de variétés d'aspects différents mais ont en commun:

6.4.1. Appareil végétatif

⇒ **Tige:** Elle est de gros diamètre et pleine de moelle. Le goût sucré de cette dernière lui a attribué une valeur fourragère élevée. Elle est lignifiée et formée de 12 à 20 nœuds séparés par un même nombre d'entrenœuds de 20 cm de long (Figure 132). A la base de la tige, les entrenoeuds sont courts et les nœuds sont empilés les uns sur les autres. La hauteur varie de 0,4 à 10 m. Les variétés cultivées ont une hauteur réduite, de 1 à 3 m. Contrairement aux autres graminées, le maïs ne talle pas. Cependant, parfois, on observe en plus de la tige principale, des tiges secondaires de tailles limitées.

⇒ **Feuilles:** Les feuilles typiques des graminées, à nervures parallèles, ont des tailles de grandeurs variables, de 4 à 10 cm de large et jusqu'à 1 m de long. Les feuilles médianes sont les plus grandes. Au niveau de chaque noeud, les feuilles ont des gaines enserrant la tige dans une position alternée et un limbe allongé en forme de ruban à la base duquel il y a une ligule de quelques millimètres de haut (Figure 132).

⇒ **Système racinaire:** Il a une direction mixte, traçante et prolongeante (Figure 132) composé de:

➢ Un grand nombre de racines traçantes, dites adventices ou stabilisatrices, sont issues des nœuds à entrenoeuds très courts et empilés au niveau de la base de la tige. Elles forment des couronnes successives sur les nœuds enterrés et les premiers nœuds aériens. Elles améliorent la résistance de la plante à la verse.

➢ Des racines fasciculées prolongeantes qui peuvent atteindre une profondeur supérieure à un mètre et explorent plusieurs mètres cubes de terre dont elles améliorent la structure.

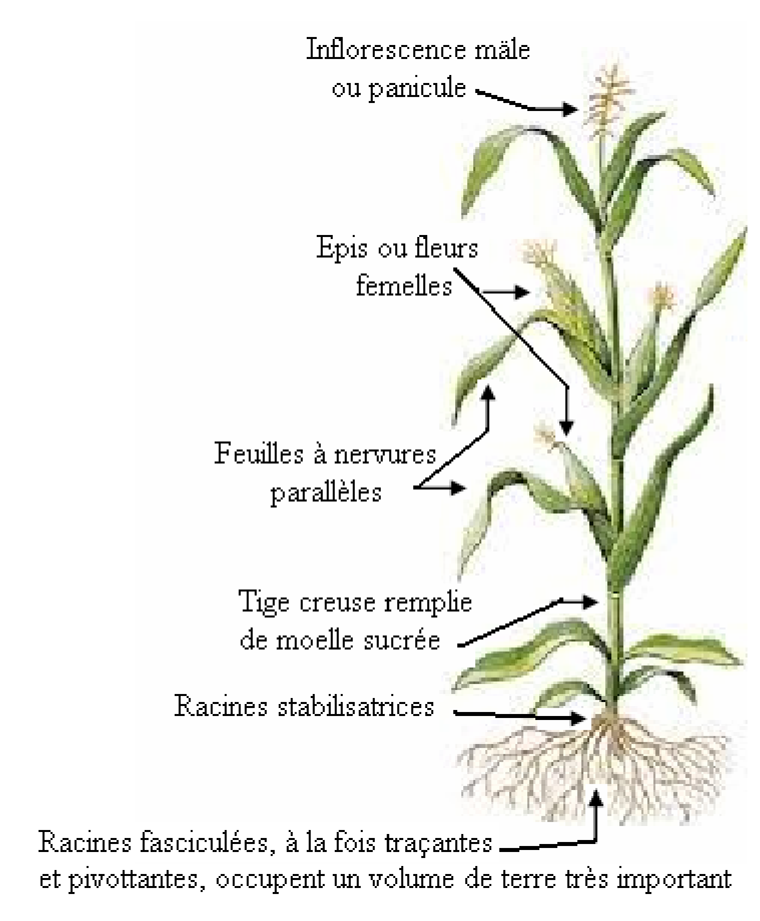


Figure 132. Morphologie d'un plant de maïs.

6.4.2. Appareil reproducteur

⇒ **Fleurs:** Elles représentent une autre caractéristique spécifique du maïs qui le distingue des autres graminées. Elles sont unisexuées, regroupées en inflorescence mâle et inflorescence femelle (Figure 133) qui font du maïs un plant monoïque allogame. La pollinisation, croisée, est assurée par le vent et les insectes. On distingue:

➢ **Les fleurs mâles** apparaissent les premières après la feuille drapeau. Elles sont groupées dans une panicule terminale qui est constituée d'épillets dont chacun est composé de deux fleurs. Chaque fleur est composée de trois étamines entourées de glumelles (Figure133).

➢ **Les fleurs femelles** sont groupées en épis insérés à l'aisselle des feuilles médianes. L'axe de l'épi, appelé rafle, porte de 10 à 20 rangées de fleurs femelles. La rafle est entourée de feuilles modifiées, dites bractées ou spathes, qui se dessèchent au stade maturité (Figure 133). A l'extrémité supérieure de l'épi, les spathes sont dépassées par des stigmates filiformes ou soies. A la maturité, un épi peut contenir de 500 à 1 000 grains. Un pied de maïs peut produire entre trois et quatre épis. Néanmoins, généralement, un seul épi atteint le développement complet (Figure 133).

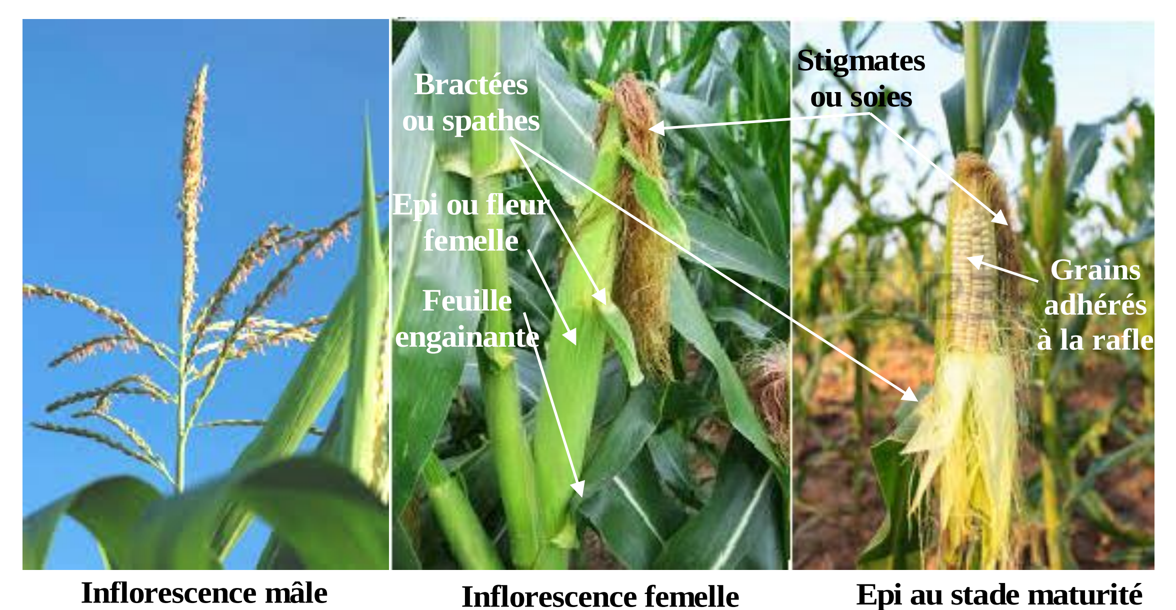


Figure 133. Inflorescences mâles et femelles et épi de maïs.

⇒ **Grain**: Il est formé d'un embryon et d'un tissu de réserve dit «albumen». Ce dernier, constitué essentiellement d'amidon, est enveloppé par une membrane fine et translucide dite « péricarpe » (Figure 134). Il a une composition friable ou bien cornée «vitreuse».

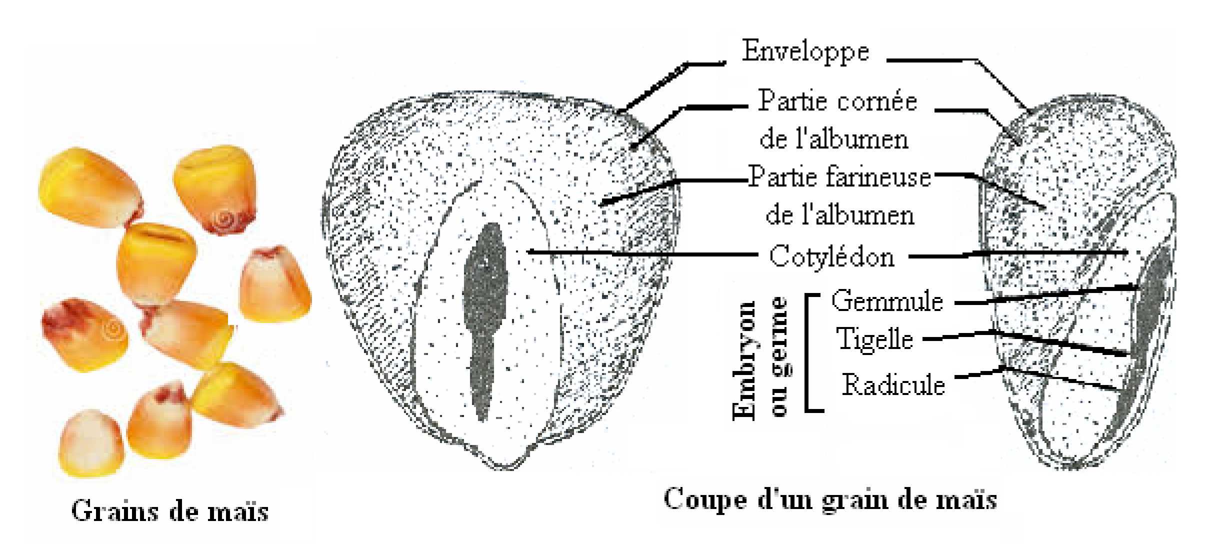


Figure 134. Morphologie et composition d'un grain de maïs (Soltner, 1982).

Selon les variétés, l'amidon corné donne différentes couleurs aux grains de maïs qui peuvent être du jaune, du blanc, du rouge, du noir... (Figure 135).



Figure 135. Epis de maïs avec différentes couleurs.

6.5. Cycle biologique

Le maïs est une plante de jours longs. Son cycle biologique est composé de deux phases: une phase végétative et une phase reproductive.

6.5.1. Phase végétative

Elle peut être subdivisée en deux phases: la germination et la croissance.

6.5.1.1. Germination

Elle se déclanche à une température minimale de 5 °C et devient active à une température de10 °C. Comme chez le blé, elle débute par le développement de la première feuille enveloppée par le coléoptile et des racines séminales. La levée dure environ une semaine.

6.5.1.2. Croissance

Comme la canne à sucre et le sorgho, le maïs est une graminée tropicale du type CAM ou en « C_4 » dont l’efficience photosynthétique est plus élevée que celle des espèces du type «C_3 ». Il est capable d’accumuler 55 kg de MS/ha/h et de se développer à une hauteur plus de 1,50 m en 20 jours. La croissance du maïs débute lentement puis s’active par la suite.

6.5.2. Phase reproductive

Elle correspond à la fécondation et à la maturité.

6.5.2.1. Fécondation

Au niveau du même pied de maïs, la maturité du pollen est plus avancée que celle des fleurs femelles. Le pollen est émis par la panicule avant l’apparition complète des soies. Ce décalage de maturité explique la fécondation croisée chez cette espèce. La fécondation intervient 48 à 72 heures après la pollinisation.

6.5.2.2. Maturité

Elle correspond au passage des grains par trois stades successifs:

- Stade laiteux: le grain dose 80 % d’eau;
- Stade pâteux: le grain, nettement denté, renferme 50 % d’eau. Les spathes commencent à jaunir;
- Stade grain rayable à l’ongle: le grain contient de 35 à 38 % d’eau. Les spathes sont complètement jaunes et sèches. C’est le stade récolte.

6.6. Exigences édapho-climatiques du maïs

6.6.1. Température

La température idéale de croissance et de floraison du maïs varie de 22 à 24 °C. Au de là de cette fourchette thermique, le rendement en grains serait réduit. Les besoins thermiques de cette espèce, tributaires des variétés, sont calculés sur la base de la somme des températures effectives (ΣTE). Certaines variétés, dites de jours courts, accélèrent leur floraison; alors que d’autres sont indifférentes à la longueur du jour.

$$\sum TE = \frac{(TMax. + TMin.)}{2} - T_0$$

Avec TMax.: Température maximale; TMin.: Température minimale; T_0: Température zéro végétatif.

6.6.2. Sol

Le maïs préfère les sols argileux, humifères et profonds. Les sols argilo - limoneux, caractérisés par la formation d’une croûte de battance à la surface, sont à éviter.

6.6.3. Besoins en eau de la culture

Les besoins hydriques d’une culture de maïs varient, selon les variétés et les dates de semis, de 400 à 550 mm. Toutefois, son système radiculaire est caractérisé par des racines traçantes, dites de surface, qui prélèvent l’eau et les nutriments à partir des couches superficielles du sol. Ce déséquilibre dans l’exploitation des ressources du sol fait que la plante est très exigeante en fumure azotée et en eau. Dans les régions semi-arides de notre pays, la culture du maïs doit être conduite en irrigué.

6.6.4. Tolérance à la salinité

Le maïs craint les eaux et les sols chargés en sels. Le rendement commence à chuter lorsque la salinité de l’eau d’irrigation dépasse 0,2 g/l. A une teneur en sel de 4 g/l, le rendement en grains est réduit à plus de 50 % (Tableau 57).

Tableau 57. Effets de la salinité du sol et de l'eau d'irrigation sur le rendement.

Taux de sel (g/l)		**0.2**	**1**	1.5	2	3	**4**
Taux du rendement	**Semis précoce**	**100**	**90**	80	75	70	**60**
	Semis tardif	**100**	**90**	80	70	60	**50**

6.7. Fertilisation

Des travaux de recherche ont montré que le maïs exporte d'importantes quantités d'éléments fertilisants du sol (Tableau 58).

Tableau 58. Répartition des apports en éléments fertilisants en fonction des stades phénologiques de la culture du maïs.

Produit fertilisant	**Quantités (kg/ha)**	**Epoque**	**Observations**
Super phosphate $_{45\%}$	200 à 250	Préparation du sol	Préserve la fertilité du sol
Sulfate de potasse$_{48\%}$	200	Préparation du sol	Favorise le développement des racines et évite la verse physiologique
Nitrate d'ammonium 33.5 %	100	Au semis	
	100 à 150	Stade de croissance rapide (6 feuilles chez les variétés précoces et 8 feuilles chez les variétés tardives)	Accélère la germination et la levée et par la suite la croissance
	100 à 150	Avant l'apparition des panicules	Favorise le remplissage des grains, l'accumulation des réserves et évite l'échaudage.

6.8. Semis

Dans nos régions, Le semis dépend de la précocité du génotype. Il peut être effectué dés la 2ème quinzaine du mois de Mars pour les variétés précoces et à partir de la 3ème décade du mois de Février pour les variétés tardives et semi - précoces.

Du fait que le maïs ne talle pas, la densité de semis agit directement sur la production. Le peuplement à l'hectare dépend du type de production, grains ou fourrage, et de la précocité des variétés. Les quantités de semences nécessaires varient de 18 à 45 kg/ha selon le poids de 1000 grains. Pour garantir un peuplement convenable, il est recommandé de majorer les quantités de semences de 10 à 20 % (Tableau 59). La profondeur du semis dépend de la nature du sol et varie de 2 à 6 cm.

Tableau 59. Peuplement d'une culture de maïs par hectare en fonction du type de production et de la précocité des variétés.

Type de variété	Ecartements (cm)	Peuplement à l'hectare (en 1 000 grains/ha)	
		Production de grains	Production de fourrage
Précoce et très précoce	15 x 65	90 à 100	100 à 110
Semi précoce - Semi tardif	15 x 70	70 à 80	80 à 90
Tardif	20 x 80	65 à 70	75 à 80

6.9. Chois variétal

Auparavant, le maïs a été sélectionné d'une façon empirique par les agriculteurs eux-mêmes sur la base de la grosseur de la taille des épis. Cependant, les plus grands progrès dans la sélection pour le rendement en grains sont basés sur le développement d'hybrides simples, doubles et même triples. La grande diversité morphologique des hybrides a permis de commercialiser des variétés à haut rendement, résistantes à la verse et dont la récolte est mécanisée. Toutefois, les récentes recherches ont permis de développer des plants transgéniques.

Le poids de 1000 grains varie de 250 à 400 g. On distingue trois types de maïs grains selon l'état plus ou moins farineux ou vitreux de l'albumen dans les grains (Figure 136). On distingue les types suivants:

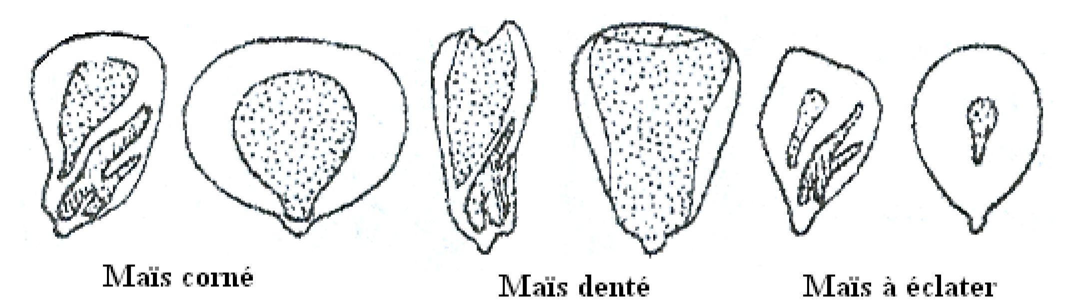


Figure 136. Différents types de maïs (Soltner, 1982).

- Corné ou «Flint - corn», à albumen semi - corné et arrondi au dessus.
- Denté ou «Dent - corn», à albumen plus farineux.
- A Eclater ou « Pop-corn » est à grains petits et pointus constitué presque entièrement d'amidon vitreux.

Plus récemment, d'autres types sont apparus:

- Denté-Corné ou «Flint - Dent - Corn»,
- Vitreux (semoules);
- Doux destiné pour l'alimentation humaine;

- Riches en huile est appréciée pour l'alimentation humaine par la présence d'antioxydants qui le rendent plus stable;
- Cireux est utilisés par certaines industries agroalimentaires ou en papeteries;
- Amylomaïs est utilisée pour la production de films d'emballage des aliments;
- Maïs riches en lysine.

6.10. Récolte

La récolte a lieu lorsque les épis ont perdu leur couleur verte. Sur la rafle, le taux d’humidité du maïs grains reste toujours supérieur à 16 %. La récolte précoce pourrait avoir lieu si 75 % des spathes sont jaunes et les grains ont un taux d’humidité de 35 à 45 %. Les grains, après égrainage ou sur épis devraient être séchés. Une récolte tardive, soit 100 % des épis sont jaunes, a l’inconvénient de retenir le sol, les risques de la verse et de l’égrainage.

La récolte du maïs fourrager à la faucheuse pourrait avoir lieu lorsque les plantes dosent au moins 30 % de matière sèche. A ce stade, les spathes commencent à se dessécher et les grains sont pratiquement durs et difficiles à écraser à l’ongle. Selon des chercheurs, un maïs est attaqué par des larves émet une odeur qui attire des prédateurs de l'insecte.

Références bibliographiques consultées

AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada) 2010. Avoine: Situation et perspectives; Rapport sur les perspectives du marché; Vol.2, N° 3; 9 pages (www.agr.gc.ca/dco-gaod) **(**Visité le 25 avril 2011**).**

Abis S., Blanc P., Lerin F. et Mezouaghi M. 2009. Perspectives des politiques agricoles en Afrique du Nord; Options méditerranéennes; Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM); Série B: Séminaires Méditerranéens Numéro 64; 246 pages.

ACPS (Association canadienne des producteurs de semences), 2009. Manuel d'épuration des cultures et des semences pedigrees; Epuration / Rév.01-2009; Le 15 mars 2009; 49 pages.

Agence BIO, 2012. L'agriculture biologique dans le monde; D'après FIBL/IFOAM et différentes sources européennes – 2012.

AGPB, 2013. Monde - Données globales et par pays sur le marché des céréales; Conseil International des Céréales, chiffres du 21/03/2013 (www.agpb.com/.../160-monde-donnees-globales-et-par-pays-sur-le-marc.).

Anonyme, 2011. Les semences de céréales; http://www.filaha.net/main2.html (visité le 4/7/2011).

Bachta M.S., 2011. L'Agriculture tunisienne: Performances et Menaces de non Durabilité; Institut Arabe des Chefs d'Entreprises; 31 pages.

Bamouh, H., 2010. Règlement Technique de la Production, du Contrôle, du Conditionnement et de la Certification des Semences des Blés, d'Orge, d'Avoine, de Triticale, de Seigle et de Riz; Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime Royaume du Maroc; 14 pages.

Boyeldieu, J., 1997. Blé tendre. Techniques agricoles, Editions Techniques - Techniques agricoles. Fascicule 2020.

Casagrande M., 2008. Evaluation précoce des performances du blé biologique (Rendement et teneur en protéines): Une approche combinée de diagnostic agronomique, de modélisation à l'aide d'indicateurs de nuisibilité et d'études des pratiques dans les exploitations agricoles; novembre 2008; Thèse de Doctorat de L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech); 223 pages.

Casagrande M., 2008. Evaluation précoce des performances du blé biologique (Rendement et teneur en protéines): Une approche combinée de diagnostic agronomique, de modélisation à l'aide d'indicateurs de nuisibilité et d'études des pratiques dans les exploitations agricoles; novembre 2008; Thèse de Doctorat de L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech); 223 pages.

CIC (Conseil International des Céréales), 2014. Données et bilans Céréales; Campagne 2013/14/juillet 2014; Perspectives 2014/15; France AgriMer; 174 pages.

CPVQ (Conseil des productions végétales du Québec), 1988. Céréales de printemps – Culture; 167 pages.

Deghaîs, M., M. Kouki, M.S. Gharbi et M. El Faleh, 2007. Les variétés des céréales cultivées en Tunisie (Blé dur, blé tendre, orge et triticale); Eds Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie; Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques République Tunisienne; 445 pages.

DGEDA (Direction Générale des Etudes et du Développement Agricole), 2006. Enquête sur les Structures des Exploitations Agricoles 2004-2005; Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques; Janvier 2006; 88 pages.

Durant O., 2002. Pratiquer l'agriculture biologique en grandes cultures- Techniques de base; Chambre Régionale d'Agriculture Rhône-Alpes – juin 2002; 57 pages.

Eyal, Z., A.L. Scharen, J.M . Prescott, and M. van Ginkel., 1987. The Septoria Diseases of Wheat: *Concepts and methods of disease management*. Mexico, D.F.: CIMMYT; ISBN 968-6127-06-2; 54 pages.

FAO Centre d'Investissement, 1987. Une Stratégie pour les céréales; République Tunisienne; Ministère de l'Agriculture; Ministère de la Production Agricole et de l'Agroalimentaire; Projet TCP/TUN 4505; Septembre 1987; 55 pages.

FAO, 2002. Agriculture mondiale horizon 2015 2030; Perspectives par grand secteur**.** http://www.fao.org/docrep/004/y3557f/y3557f09.htm; **(**visité le 10/6/2013)

FAO, 2012. Food Outlook Global Market Analysis 2012; Web site: www.fao.org/docrep/016/al993e/al993e00.pdf; (Visité le 2/1/2014).

FAO, 2011. World Food Situation: Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales. http://www.fao.org/worldfoodsituation/wfs-home/csdb/fr/ (visité le 14/5/2011).

Filaha, 2011. Les semences de céréales; http://www.filaha.net/main2.html (visité le 4/7/2011).

Gate P., 1995. Ecophysiologie du blé. Ed. Technique et Documentation. Lavoisier Paris, 429 pages.

INA P-G., 2003. Céréales; Département AGER; 86 pages.

INRA, 2003. Recherche, Innovation, Les rencontres du Végétal en Horticulture, Semences et Paysage; Semences et approches socio-économiques de la filière semences; Résumés des communications; Les 20 et 21 novembre 2003 à l'Institut National d'Anger; 62 pages.

INS (Institut National de la Statistique), 2008. Annuaire Statistique de la Tunisie; République Tunisienne; Ministère du Développement et de la Coopération Internationale; 346 pages.

IRESA (Institution de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur Agricole), 2014. Catalogue des obtentions végétales et des brevets; Direction de la Diffusion des Innovations et de la Liaison entre la Recherche et la Vulgarisation; Ministère de l'Agriculture; République Tunisienne; 58 pages.

Isurat, 2010. Règlement Technique; Annexe des Semences Certifiées de Céréales Autogames; Homologué par arrêté du 29 juin 2010 - J.O. du 2 juillet 2010 Doc. n° NC-TR-002-L;12 pages.

ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourrages), 2011. Guide pratique – Stockage et conservation des grains à la ferme; 146 pages; D:/cd3wddvd/NoExe/…/meister10.htm (Visité le 15/2/2012).

Lecat A., 2005. Guide des pratiques de l'agriculture biologique en grandes cultures; Projet VETAB (Valoriser l'Expérience Transfrontalière en Agriculture Biologique) Chambre d'Agriculture du Nord; Janvier 2005; 45 pages.

Mc Kevith B., 2004. Final Report to the Home Grown Cereal Authority; British Nutrition Foundation; April 2004; 62 pages.

Mathre D.E 1982. Compendium of Barley Diseases; Published by The American Phytopathological Society; In cooperation with The Department of Plant Pathology; Montana State University; Second Printing, 1985; 78 pages.

Moule C. 1971. Phytotechnie spéciale II; Céréales, édition La Maison Rustique – Paris; 95 pages

Rastoin JL et Benabderrazik E.H., 2014.Céréales et oléoprotéagineux au Maghreb Pour un co-développement de filières territorialisées; IPEMED (Institut de Perspective Economique du Monde Méditerranéen); Mai 2014; 38 pages.

Simon J.P., 2005. CHAPITRE 5; Le blé, le seigle et le triticale; *In*: Les principales plantes alimentaires du monde: Origines, évolution, culture et utilisations; http://www.bio.umontreal.ca/cours/Plantes_Utiles/Plantes.htm#note.

Simon J.P., 2005. CHAPITRE 7; Annexe maïs; *In*: Les principales plantes alimentaires du monde: Origines, évolution, culture et utilisations; http://www.bio.umontreal.ca/cours/Plantes_Utiles/Plantes.htm#note.

Simon J.P., 2005. CHAPITRE 8; Orge, Avoine, Sorgho et millet; *In*: Les principales plantes alimentaires du monde: Origines, évolution, culture et utilisations; http://www.bio.umontreal.ca/cours/Plantes_Utiles/Plantes.htm#note.

Slama A.; M. Ben Salem; M. Ben Naceur et E. Zid, 2005. Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance; Sécheresse16 (3): 225-229.

Soltner D., 1981. Les bases de la production végétales: Le sol - Le climat-La plante; Phytotechnie Générale; Tome I: Le sol; 10ème Edition; 456 pages.

Soltner D., 1982. Les grandes productions végétales. Collection Sciences et Techniques Agricoles; 12ème Edition; 432 pages.

Soltner, D. 1998. Les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sainte-Gemme-sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles.

Zillinsky F. J., 1974. The triticale improvement program at CIMMYT; *In* Triticale; Proceedings of an international symposium; El Batan, Mexico, 1-3 October 1973; Editors: Reginald Macintyre/Marilyn Campbell; page: 81-85.

Zillinsky, F.J., 1983. Maladies communes des céréales il paille: Guide d'identification; Centro 1nternacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo; 156 pages.

Zillinsky, F.J., 1983. Common Diseases of Small Grain Cereals: A Guide to Identification; Centro 1nternacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo; 156 pages.